

Millora i adaptació del model simplificat d'Ascó per l'ús de càlculs escalats.
Aplicació a l'anàlisi de distorsions en escenaris LOBI.
Santiago Lucas Serra

1/85

1 Resum

Aquest projecte versa sobre la utilització i millora del model simplificat de la central nuclear d'Ascó per la realització de càlculs termohidràulics utilitzant el codi RELAP5 mod3.3.

Aquest model simplificat, creat sobretot per realitzar simulacions en l'àmbit de càlculs escalats, presentava limitacions a l'hora de definir la pressió del secundari, paràmetre que varia segons la planta ITF (Integral Test Facility) i l'experiment que es vol reproduir amb el model. Aquest problema s'ha solucionat, millorant l'estabilització durant l'estacionari de l'experiment als paràmetres de la ITF.

A més a més, s'ha realitzat un estudi de l'impacte que tenen els diferents elements de la central nuclear (cuva, branques i generadors de vapor) durant els transitoris.

Per estudiar això, s'ha treballat amb els experiments BL30 (un LOCA del 5%) i BL44 (un LOCA del 6%) realitzats a la ITF LOBI. (LOCA: Loss Of Coolant Accident, accident de pèrdua de refrigerant).





2 Taula de continguts

1	Resum.....	1
2	Taula de continguts.....	3
3	Introducció.....	5
3.1	Antecedents.....	5
3.2	Objecte.....	6
4	Descripció d'Ascó.....	7
4.1	La planta.....	7
4.2	Model utilitzat.....	7
5	Descripció de la ITF.....	9
5.1	La instal·lació: LOBI.....	9
5.2	Descripció de l'experiment BL30.....	9
5.3	Descripció de l'experiment BL44.....	11
6	Metodologia.....	15
6.1	Implementació d'un control de la pressió del secundari.....	15
6.1.1	Resultats del ROSA 3.1.....	18
6.2	Creació de models híbrids Ascó-LOBI.....	22
6.2.1	Connexió del pressionador.....	23
6.2.2	Factor d'escala.....	23
7	BL30: Resultats i sensibilitats.....	25
7.1	Escalació de principi.....	25
7.2	Anàlisi de distorsions amb l'ajut de models híbrids.....	29
7.2.1	Efecte dels generadors de vapor.....	29
7.2.2	Efecte de les branques del primari.....	31
7.2.3	Efecte de la cuva.....	33
7.3	Escalació pura.....	35
7.3.1	Sensibilitat: estructures de calor escalades per àrea.....	40
8	BL44: Resultats i sensibilitats.....	49
8.1	Escalació de principi.....	49



8.2	Anàlisi de distorsions amb l'ajut de models híbrids.....	53
8.2.1	Efecte dels generadors de vapor	53
8.2.2	Efecte de les branques del primari	57
8.2.3	Efecte de la cuva	61
8.3	Escalació pura.....	65
8.3.1	Sensibilitat: estructures de calor escalades per àrea	69
9	Conclusions i temes oberts.....	75
10	Pressupost.....	77
10.1	Costos derivats dels recursos humans dedicats al projecte	77
10.2	Costos derivats dels recursos materials dedicats al projecte	78
10.3	Resum	78
11	Estudi d'impacte ambiental.....	79
12	Bibliografia.....	81
13	Relació de figures.....	83



3 Introducció

3.1 Antecedents

Una part del procés de qualificació dels models termohidràulics de central nuclear [1], és la realització de càlculs escalats [2] [3] [4]. Aquests consisteixen en reproduir experiments realitzats en plantes ITF, que són instal·lacions construïdes imitant una central nuclear real, però a una escala reduïda i, normalment, sense combustible nuclear, on es simulen accidents que es poden donar en centrals nuclears. Com a resultat d'aquests simulacres d'accidents, s'obtenen dades empíriques del comportament que tindria la central nuclear davant l'escenari plantejat. Per tant, l'objectiu dels càlculs escalats es simular, amb el model de planta que s'estigui qualificant, l'experiment prèviament realitzat, obtenint un comportament similar al real obtingut en la ITF.

A l'hora de realitzar aquests càlculs escalats, el calculista es troba amb el principal inconvenient que la central nuclear amb la que està treballant no és la central de referència segons la qual ha estat construïda la ITF, per tant, a l'hora d'ajustar el tamany de les dues plantes al mateix, hi haurà paràmetres que no seran iguals, i que requeriran d'ajustos especials.

Actualment, dins del procés de qualificació avançada de les centrals nuclears catalanes, la UPC (Universitat Politècnica de Catalunya) disposa d'un model simplificat de la central nuclear d'Ascó. Aquest model, creat per Noelle Baltzer [5], té per objectiu facilitar el càlcul d'experiments portats a terme en ITFs, ja que la seva filosofia de modelització simplificada permet portar la planta d'ASCÓ a un estat estacionari amb els paràmetres propis de la ITF i, a més, permet realitzar sensibilitats més fàcilment que un model complet.

Aquest model simplificat, des de la seva creació, s'ha utilitzat per simular diversos escenaris amb èxit, dintre dels quals hi ha:

- BL44. LOCA del 6% simulat per Noelle Baltzer dins el seu projecte final de Màster, en el qual es presentava el model, amb les simplificacions de geometria i lògica fetes, i s'utilitzava per fer una anàlisi de distorsions induïdes per diferents elements de la central (turbina, pressionador, downcomer, ...)
- ROSA 3.1. LOCA del 1% en branca freda sense pressionador, modelitzat per Victor Manuel Martínez en l'àmbit de la seva tesi doctoral [2] [3]. Aquí es va realitzar un treball d'estructuració de les senyals de control i es va implantar la planta LSTF al model. Durant la simulació, es va utilitzar el model simplificat per estudiar com el codi RELAP5/mod3.3 reproduïa el flux supercrític i l'acumulació de líquid als tubs en U durant la circulació natural a alta potència, veient també la importància com a possible font d'incerteses i distorsions la geometria del cap de la cuva i dels by-pass d'aquesta.
- BL30. LOCA del 5% simulat per Patricia Pla [4], profunditzant en l'ús del model dins dels tests de la instal·lació LOBI.



A més a més, dins de l'àmbit dels càlculs escalats, hi ha el treball realitzat per Patricia Pla, que va crear un programa informàtic per escalar models de planta, facilitant la tasca del calculista [4].

En aquest model, tot i demostrar la seva fiabilitat i flexibilitat anteriorment, també s'ha pogut observar que presenta certes carències que s'han intentat solucionar en el present projecte, així com profunditzar en els aspectes que van quedar oberts en el treball de la Noelle.

Dintre dels experiments amb què es treballa a la UPC, el BL44 ha portat complicacions a l'hora de la seva simulació, especialment per quadrar la pressió del secundari durant el transitori. Amb la intenció de solucionar aquest problema, es creen les dues línies de treball que formaran els principals objectius d'aquest projecte.

3.2 Objecte

L'objecte del present projecte és millorar el model simplificat d'ASCO. Dita millora consisteix en:

- Implementar al model un control d'acondicionament de la pressió del secundari, juntament amb l'acondicionament ja existent de la potencia i el cabal del primari, per portar la planta als paràmetres estacionaris de l'experiment que es vol simular.
- Iniciar la creació de models híbrids, entre ASCÓ i la ITF, LOBI en aquest cas, per veure l'impacte que tenen els diferents elements de la central en el decurs del transitori.



4 Descripció d'Ascó

4.1 La planta

Ascó 2 és un reactor PWR (reactor d'aigua a pressió) Westinghouse de 2940.6 MW tèrmics i 3 llaços.

4.2 Model utilitzat

Com s'ha comentat varies vegades, aquest treball gira entorn del model simplificat d'Ascó. Les simplificacions d'aquest model són les següents:

- Geometria:
 - Pressionador: eliminades les vàlvules de seguretat i el tanc d'alleujament, així com la línia d'aspersors i els escalfadors, ja que la pressió del primari es regula amb la incorporació d'un volum fictici que dona la pressió al sistema. Utilitzant aquest mètode, s'ha de prendre la precaució d'aïllar aquest volum del pressionador temps abans que comenci el transitori, perquè la planta estigui en paràmetres estacionaris per si sola.
 - Sistema de carrega y descàrrega: eliminades les variables de control de la lògica per associar el cabal de càrrega i descàrrega per tal de mantenir el nivell del pressionador constant.
 - Injeccions de seguretat: s'han eliminat les bombes, tan d'alta com de baixa pressió. S'incorporen volums ficticis que proporcionen el cabal segons la pressió del sistema.
 - Aigua d'alimentació principal y auxiliar: simplificació de la geometria i de la lògica que governa el caudal
 - Línies de vapor: eliminació de les vàlvules de seguretat, llevat d'una per generador. Eliminació de les línies de *steam dump* i de consums propis.
- Lògica:
 - Corba de potencia imposada per taula, per tal de imposar el decaïment de potència ocorregut a la ITF durant l'experiment.
 - Cabal del primari definit per taula, a partir de les revolucions per minut de la bomba, les quals tenen una corba de decaïment similar a la de la potència.
 - Eliminació d'altres controls y senyals no utilitzats.



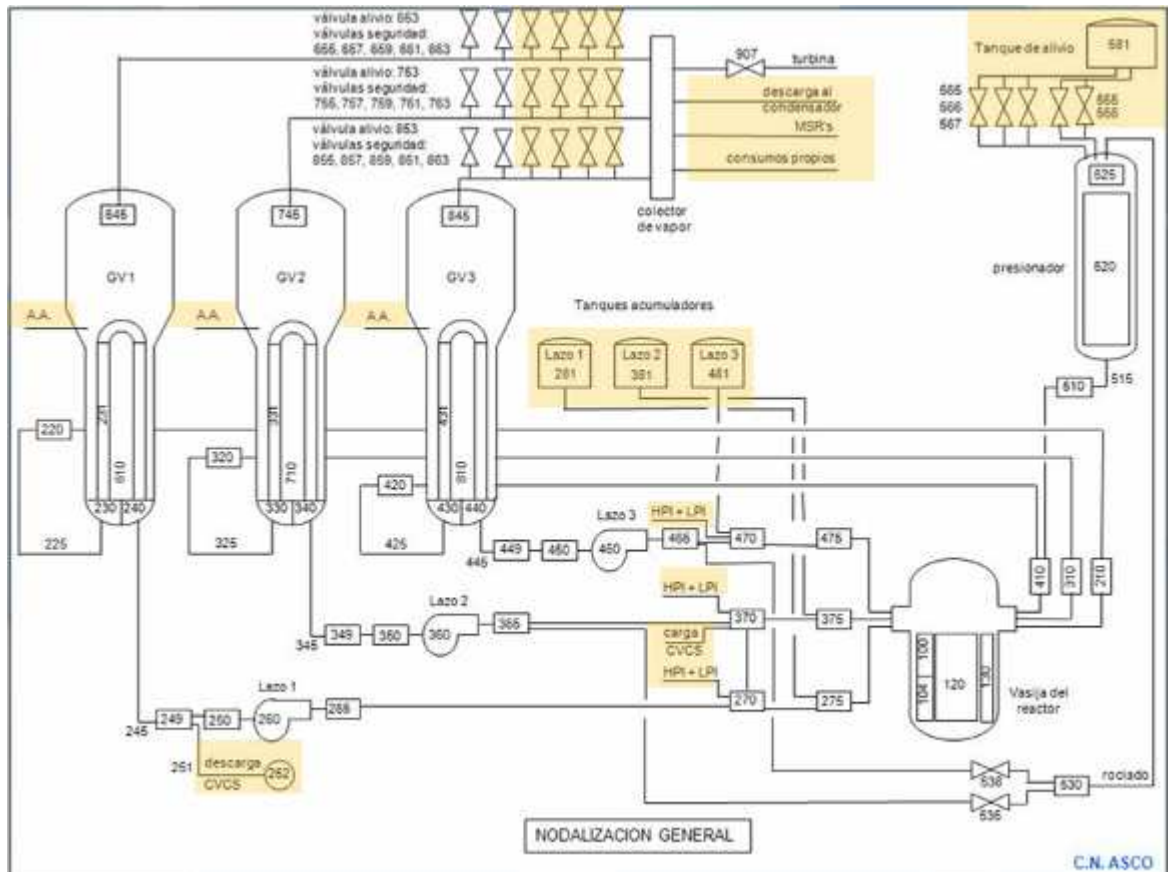


Figura 1: Simplificacions del model d'Ascó

5 Descripció de la ITF

5.1 La instal·lació: LOBI

LOBI és una instal·lació, 712 vegades més petita, construïda per simular un PWR de 4 llaços i 1300MW elèctrics [6]. La instal·lació base és una Siemens-KWU situada a Biblis (Alemanya). LOBI està construïda amb un llaç simple, on es practicarà la ruptura en els diferents experiments, i un llaç triple, que simula els altres tres llaços de la planta base.

Aquesta instal·lació es va construir a Ispra, Itàlia, dissenyada i operada al JRC (Joint Research Centre). Durant la primera configuració de la planta, LOBI/MOD1, es va centrar en experiments de LOCAs grans; durant la segona configuració, la LOBI/MOD2, es van dur a terme transitoris amb LOCAs petits. Els dos experiments utilitzats en aquest treball s'extreuen d'aquest període.

Les principals característiques de la instal·lació són:

- Una cuva pressuritzada que conté els elements calefactors, que simulen el nucli. Són 64 barres disposades en una matriu quadrada 8X8. La potència nominal de calefacció és de 5,3 MW. Cada barra té una longitud activa de 3,9 m, diàmetre exterior de 10,75 mm i una separació de 14,3 mm. El gruix de paret de les barres és variable per tal de simular el flux axial de potència.
- Dos llaços, intacte i trencat, triple i simple. Els dos llaços estan equipats amb bombes de recirculació que, durant l'estat d'equilibri, giren a diferents velocitats per aconseguir equilibrar els cabals amb els valors escalats corresponents. A cada llaç hi ha un generador de vapor. L'intercanvi de calor és, en les condicions de funcionament nominals, de 1.32 MW (8 tubs en U) i 3.96 MW (24 tubs en U) per al trencat i l'intacte, respectivament.
- Al secundari hi ha diversos circuits: dos condensadors que simulen les turbines del reactor, la bomba d'alimentació d'aigua i el sistema d'aigua d'alimentació auxiliar.
- El pressurador és intercanviable, es pot instal·lar tan al llaç intacte com al llaç trencat. El disseny del pressurador és similar al de la planta de referència.
- Sistema de refrigeració d'emergència d'alta pressió (4 bombes d'injecció HPIS), baixa pressió (LPIS) i un sistema passiu d'acumuladors, amb dos acumuladors, un a cada llaç.
- El sistema d'instrumentació de la instal·lació permet la mesura dels principals paràmetres tèrmics i hidràulics, realitzades en els extrems dels principals components de cada llaç i en les seccions principals de la cuva i dels generadors de vapor.

5.2 Descripció de l'experiment BL30

Aquest experiment és un LOCA del 5% a la branca freda, simulat amb un forat de 6.7 mm de diàmetre [4] [6].



Per l'execució del BL30, la configuració de la instal·lació era:

- Pressionador connectat a la branca calenta del llaç intacte.
- HPI només al llaç intacte, connectat a la branca freda.
- Acumulador actiu només al llaç intacte, connectat a la branca freda.
- LPI no utilitzat.
- Aigua d'alimentació auxiliar activa en els dos llaços, però activada només al llaç trencat.

Les condicions inicials de l'experiment, amb la planta estable abans del trencament, són les següents:

PRIMARI		Experimental	Unitats
Cabal	Llaç intacte	21.05	kg/s
	Llaç trencat	6.75	kg/s
Pressió	Upper Plenum	15.90	MPa
Temperatures del fluid			
Sortida de la cuva	Llaç intacte	326	°C
	Llaç trencat	329	°C
Entrada de la cuva	Llaç intacte	295	°C
	Llaç trencat	296	°C
Pressionador		346	°C
Potència		5.167	MW
Nivell pressionador		5.10	m
SECUNDARI			
Cabal d'aigua d'alimentació principal	Llaç intacte	1.99	kg/s
	Llaç trencat	0.69	kg/s
Pressió	Llaç intacte	6.53	MPa
	Llaç trencat	6.51	MPa
Temperatures			
Entrada del generador de vapor	Llaç intacte	216	°C
	Llaç trencat	216	°C
Nivell del downcomer	Llaç intacte	9.17	m
	Llaç trencat	8.23	m

Les condicions d'activació dels senyals són les següents:

EVENT	Senyal
Trencament	0 s
Scram	Pressió Upper Plenum < 13.2 MPa + 0.5 s
Inici HPI	11.7 MPa + 35 s



Inici d'injecció d'acumuladors	Pressió primari < 2.8 MPa
Fi d'injecció d'acumuladors	0.022 m3 (5% del volum total)
Aigua d'alimentació auxiliar	Nivell Generador de vapor < 5 m
Refredament imposat al secundari	100 K/h imposats després del SCRAM

La seqüència d'esdeveniments durant el transitori és:

TEMPS	EVENT
0	Ruptura
3.9	Senyal de SCRAM
44.0	Inici HPI
191	La pressió del primari cau per sota del secundari
198	Loop seal clearing (llaç trencat)
232	Loop seal clearing (llaç intacte)
676	Injecció de l'acumulador
1025	Arranc de l'aigua d'alimentació auxiliar al llaç trencat
2900	Fi del test

5.3 Descripció de l'experiment BL44

Aquest experiment és un LOCA del 6% a la branca freda, entre la bomba i la cuva [6]. El trencament a la planta d'origen és de 50 mm, i es simulat amb un orifici de 7,36 mm.

Per l'execució del BL44, la configuració de la planta era:

- Pressionador connectat a la branca calenta del llaç trencat.
- HPI no utilitzat.
- Acumulador actiu només al llaç intacte, connectat a la branca freda.
- LPI actiu en tots dos llaços, activat per excés de temperatura de beina.



Les condicions inicials de l'experiment, amb la planta estable abans del trencament, són les següents:

PRIMARI		Especificat	Actual	Unitats
Cabal	Llaç intacte	21.00	21.30	kg/s
	Llaç trencat	7.00	7.40	kg/s
Pressió	Upper Plenum	15.40	15.46	MPa
Temperatures del fluid				
Sortida de la cuva	Llaç intacte	316	312	°C
	Llaç trencat	316	316	°C
Entrada de la cuva	Llaç intacte	284	281	°C
	Llaç trencat	284	281	°C
Pressionador		344	354	°C
LPI		30	30	°C
Potencia		5.28	5.25	MW
Injecció d'aigua a la junta de la bomba	Llaç intacte	0.025	0.010	kg/s
	Llaç trencat	0.025	0.008	kg/s
Nivell pressionador		4.70	5.10	m
SECUNDARI				
Cabal d'aigua d'alimentació principal	Llaç intacte	2.00	1.95	kg/s
	Llaç trencat	0.67	0.75	kg/s
Pressió	Llaç intacte	5.50	5.12	MPa
	Llaç trencat	5.50	5.11	MPa
Temperatures				
Entrada del generador de vapor	Llaç intacte	210	224	°C
	Llaç trencat	210	221	°C
Sortida del generador de vapor	Llaç intacte	270	265	°C
	Llaç trencat	270	265	°C
Índex de recirculació (downcomer/AAP)	Llaç intacte	6.0	6.4	
	Llaç trencat	4.0	4.3	
Nivell del downcomer	Llaç intacte	8.00	8.26	m
	Llaç trencat	8.40	8.64	m



Les condicions d'activació de les senyalls són les següents:

EVENT	Especificat	Actual
Trencament	0 s	0 s
Scram, inici decaïment potencia	Pressió PRZ < 13 MPa	Pressió Upper Plenum < 13 MPa
Inici decaïment cabal	Pressió PRZ < 13 MPa	Pressió UP < 12.7 MPa
Tancament AAP	Pressió PRZ < 13 MPa	Pressió UP < 12.4 MPa
Tancament línies de vapor	--	--
Inici d'injecció d'acumuladors	Pressió primari < 4.0 MPa	Pressió primari < 3.91 MPa
Fi d'injecció d'acumuladors	0.09 m3 (senyal de volum baix d'aigua)	0.085 m3 (senyal de volum baix d'aigua)
Inici LPI	Temperatura de beina < 773 K	Temperatura de beina < 792 K

La seqüència d'esdeveniments durant el transitori és:

TEMPS	EVENT
0	Ruptura
0.6	Senyal de SCRAM, inici del decaïment de la potència
0.9	Inici del decaïment de les bombes
--	Tancament de les línies de vapor
1.3	Tancament de l'AAP
10	Upper plenum en saturació
25	Buidat del pressionador
117	Trencament en corrent bifàsic
189	Primer buidat del nucli
197	Loop seal clearing (llaç intacte)
427 2071	Mínima massa del primari
208	Acoblament de pressió entre primari i secundari
372	Segon buidat del nucli
429	Inici d'injecció de l'acumulador
547	Omplerta del nucli degut a l'acumulador
970	Fi d'injecció de l'acumulador
1711	Últim buidat del nucli
2065	Inici d'injecció LPI
2203	Omplerta del nucli deguda a LPI
2400	Fi del test





6 Metodologia

6.1 Implementació d'un control de la pressió del secundari

Depenent de la ITF i l'experiment que s'estigui escalant, el calculista es trobarà amb valors de pressió del secundari variats, lluny del valor nominal d'ASCÓ, 6.6 MPa. D'aquesta manera, podem trobar experiments com BL30 i BL44 de LOBI, els dos utilitzats en aquest projecte, amb pressions del secundari de 6.53 i 5.12 MPa respectivament, valors per sota de la nominal d'ASCÓ, o experiments com el ROSA3.1 de LSTF, amb una pressió del secundari de 7.3 MPa, valor per sobre de la nominal d'ASCÓ.

Per tal de descartar com a font de distorsions el valor estacionari de la pressió del secundari, és a dir, el valor de pressió del secundari en que es troba la planta quan es produeix l'activador de l'experiment (un trencament a la branca freda en els experiments aquí simulats), cal implementar un sistema de control flexible que permeti portar la planta a la pressió desitjada, tenint una finestra de possibilitats prou ample com per abastar qualsevol experiment que es vulgui realitzar amb aquest model.

Per tal d'aconseguir-ho, s'idea una vàlvula en la línia de vapor, abans de la turbina, que mitjançant la seva obertura i tancament regularà la pressió del secundari. Per fer-ho, s'aprofita la vàlvula 907 existent en la modelització actual.

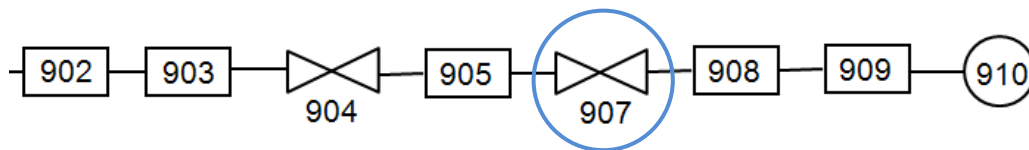


Figura 2: Línia de turbina

El control implementat es basa en, entrant dues pressions de consigna, la pròpia d'Ascó i la pressió objectiu del transitori que es vol escalar, primer el secundari es mantindrà a la pressió d'Ascó fins a l'instant d'inici de la fase d'acondicionament, quan la vàlvula obrirà o tancarà, depenent de l'error entre la lectura de pressió actual a la cúpula dels generadors de vapor i la consigna. El control s'aturarà, deixant el secundari a la pressió desitjada, al finalitzar la fase d'acondicionament.

La fase d'acondicionament és un període on es porta la planta als valors objectius de potència, cabal i pressió del secundari. Aquests paràmetres, per evitar fluctuacions brusques, es porten des dels valors de consigna d'Ascó fins als objectius mitjançant una rampa de 400 segons. Exemple (fase d'acondicionament de BL44):



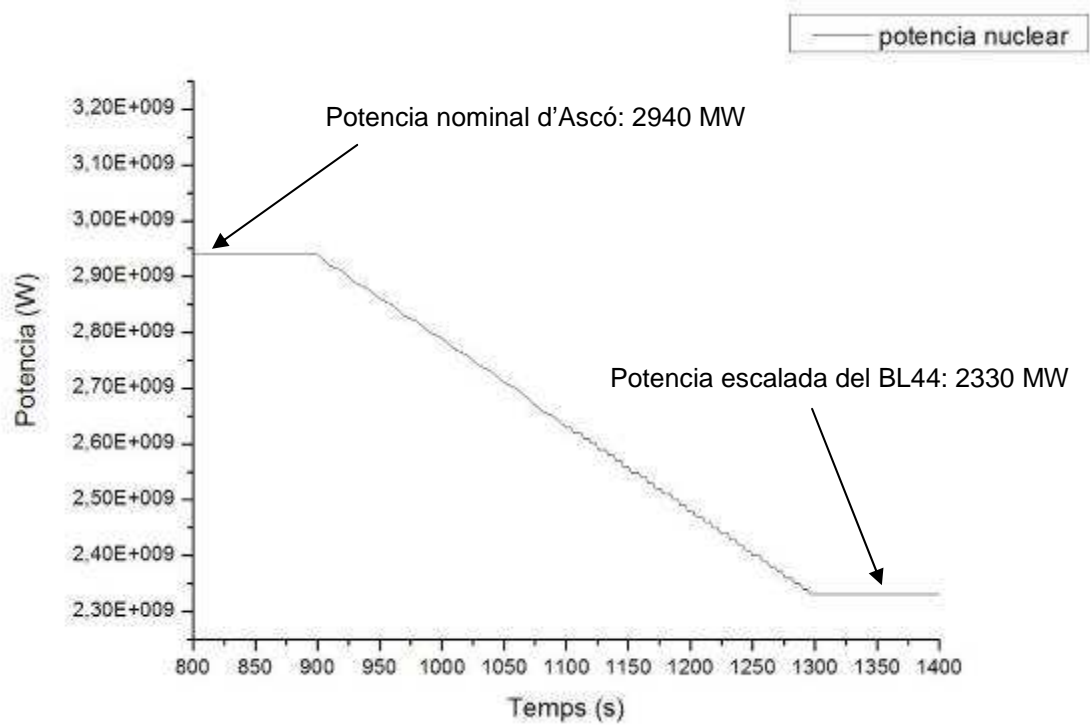


Figura 3: Fase d'acondicionament de BL44: Potència nuclear

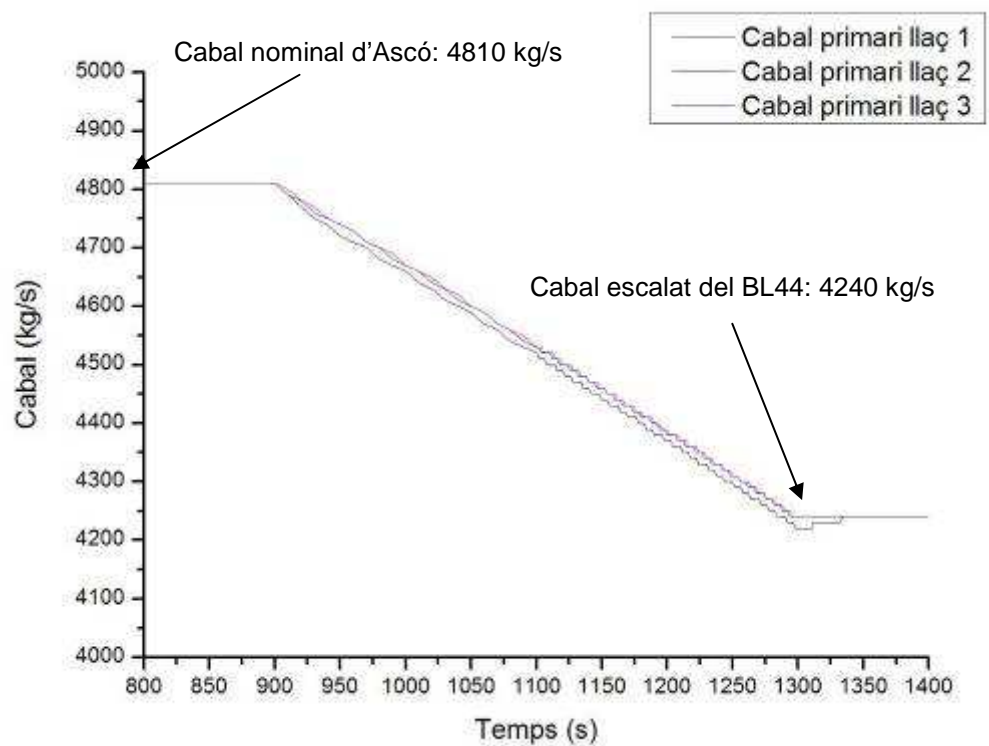
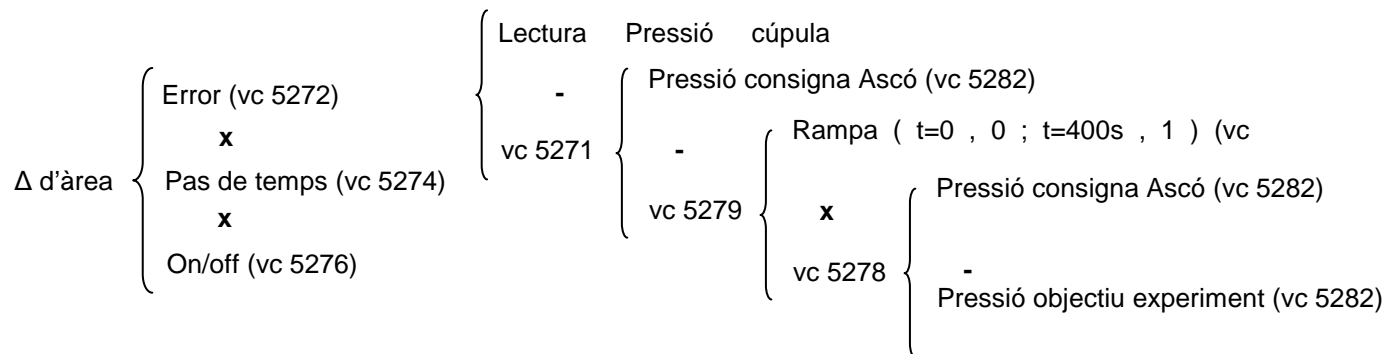


Figura 4: Fase d'acondicionament de BL44: Cabal del primari



L'arbre d'operacions lògiques de l'obertura de la vàlvula és el següent:

Àrea de la vàlvula: Àrea actual + Δ d'àrea



vc: variable de control.

Amb aquest control implementat, s'aconsegueix que, durant el mateix interval de temps que es regulen potencia i cabal del primari, la pressió del secundari assoleixi la corresponent a l'experiment que es vol escalar:

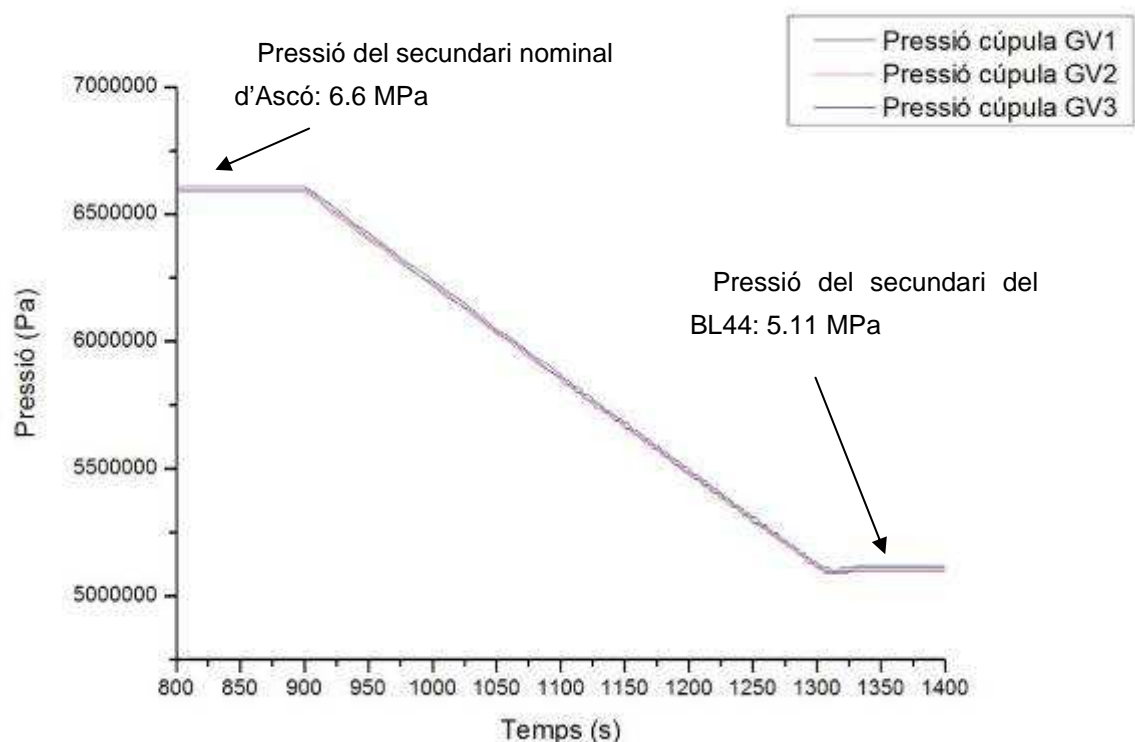


Figura 5: Fase d'acondicionament de BL44: Pressió del secundari

Amb aquest control es pretenia obtenir un rang de pressions del secundari prou ample com per poder realitzar els experiments de ITF que es creuen més rellevants per Ascó. A l'hora d'escalar un experiment, al entrar els paràmetres estacionaris de planta, s'haurà de comprovar que aquests són estables al final de la fase d'acondicionament.



A data d'aquest projecte, els estacionaris que s'han provat, amb les corresponents obertures de vàlvula, són:

- LSTF
 - ROSA3.1: 2.29%
- LOBI
 - BL30: 16.2 %
 - BL44: 35.3 %
 - LOCA 10%: 16 %

6.1.1 Resultats del ROSA 3.1

L'experiment ROSA3.1, de LSTF (un LOCA petit de l'1%, amb fallada d'SCRAM i pèrdua de subministrament elèctric, és a dir, sense HPI ni LPI), s'ha fet servir de test per comprovar la validesa d'aquesta millora, ja que és un experiment executat prèviament amb èxit, per Víctor Martínez, utilitzant la versió anterior del model simplificat.

Comparació de paràmetres:

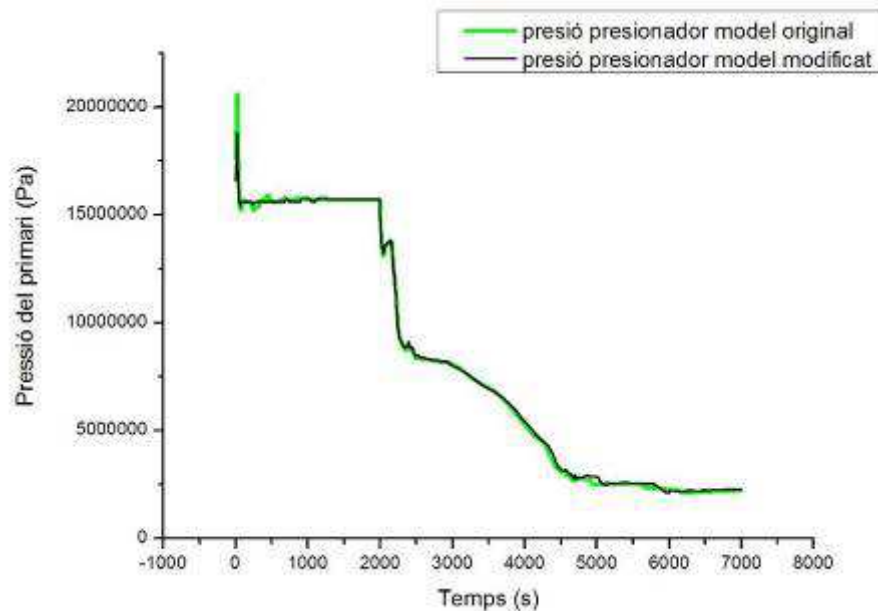


Figura 6: ROSA3.1: Pressió del primari



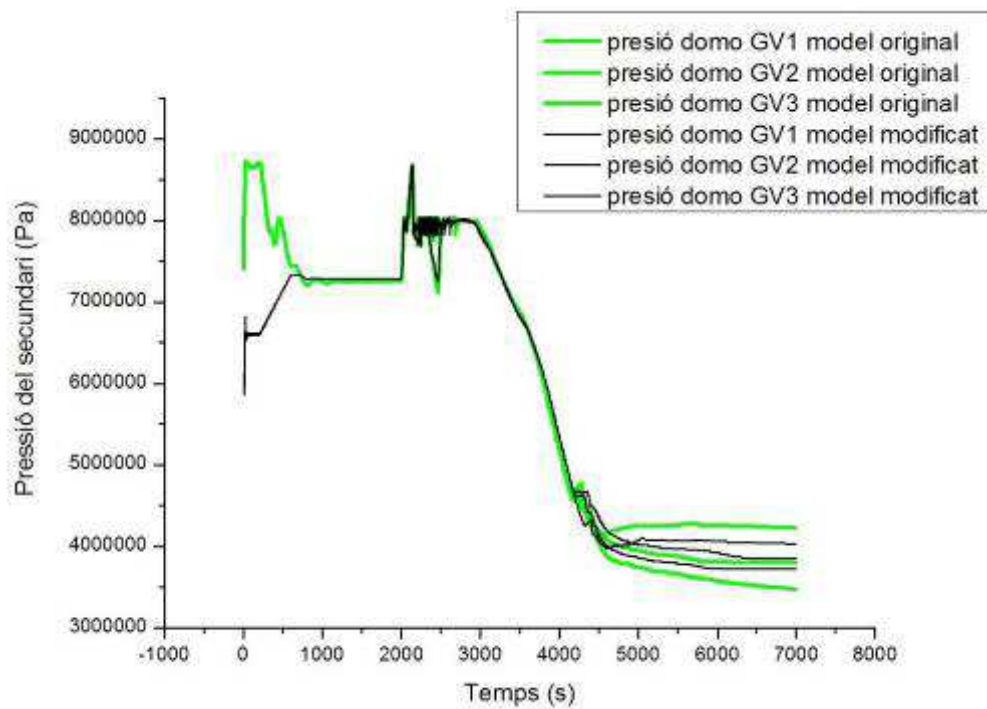


Figura 7: ROSA3.1: Pressió del secundari

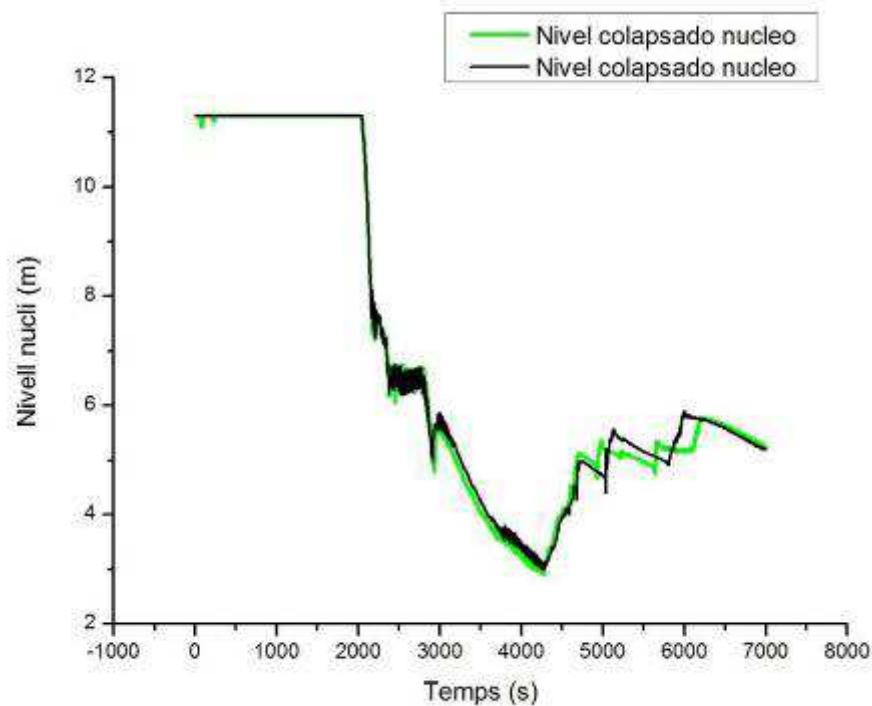


Figura 8: ROSA3.1: Nivell del nucli



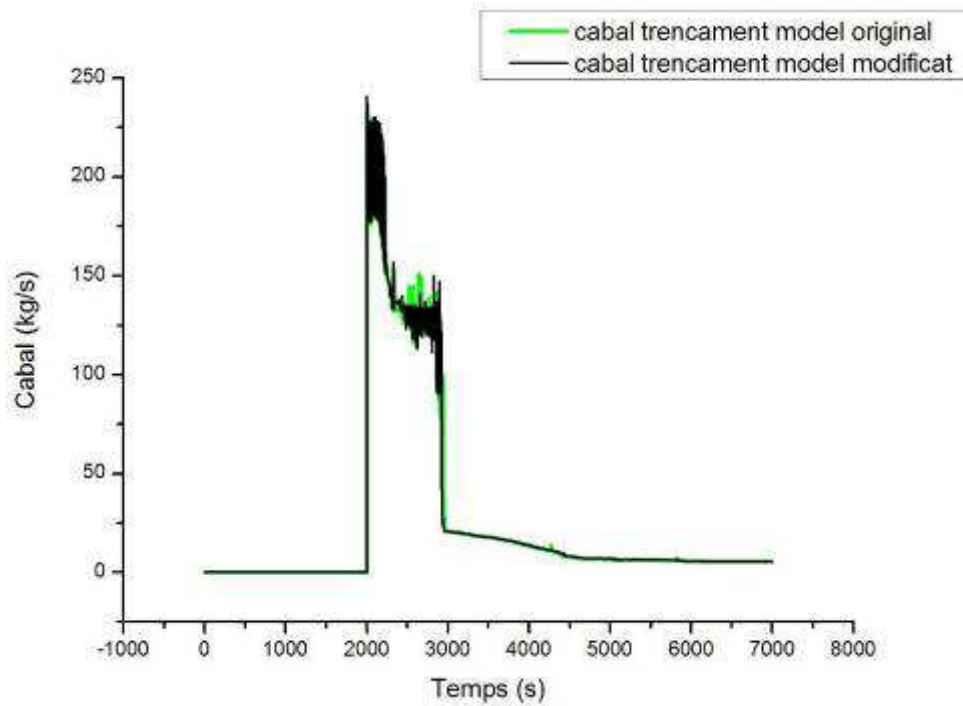


Figura 9: ROSA3.1: Cabal pel trencament

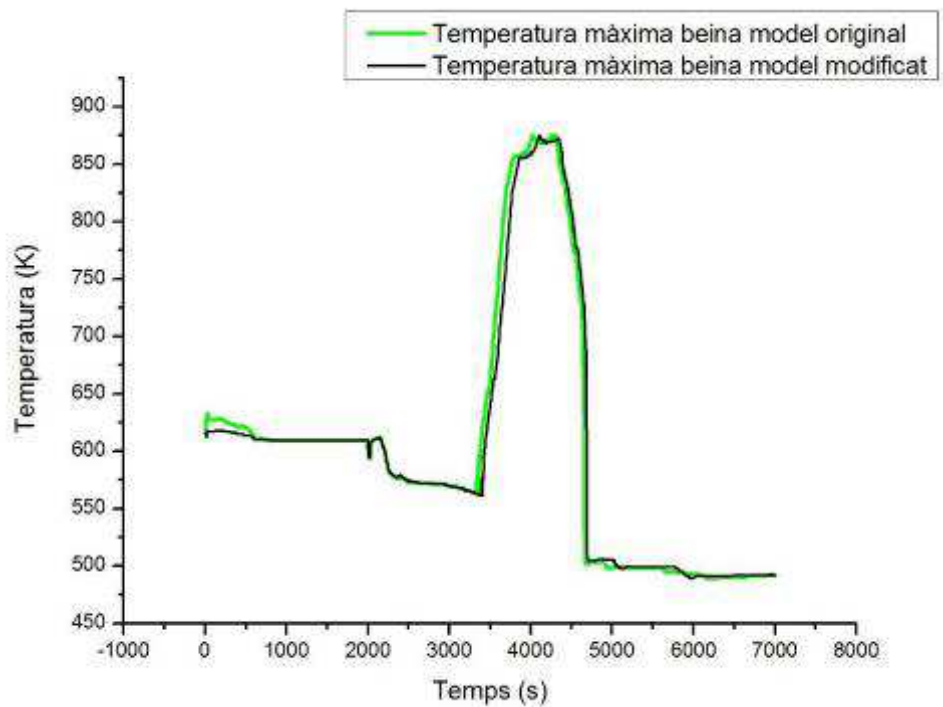


Figura 10: ROSA3.1: Màxima temperatura de beina



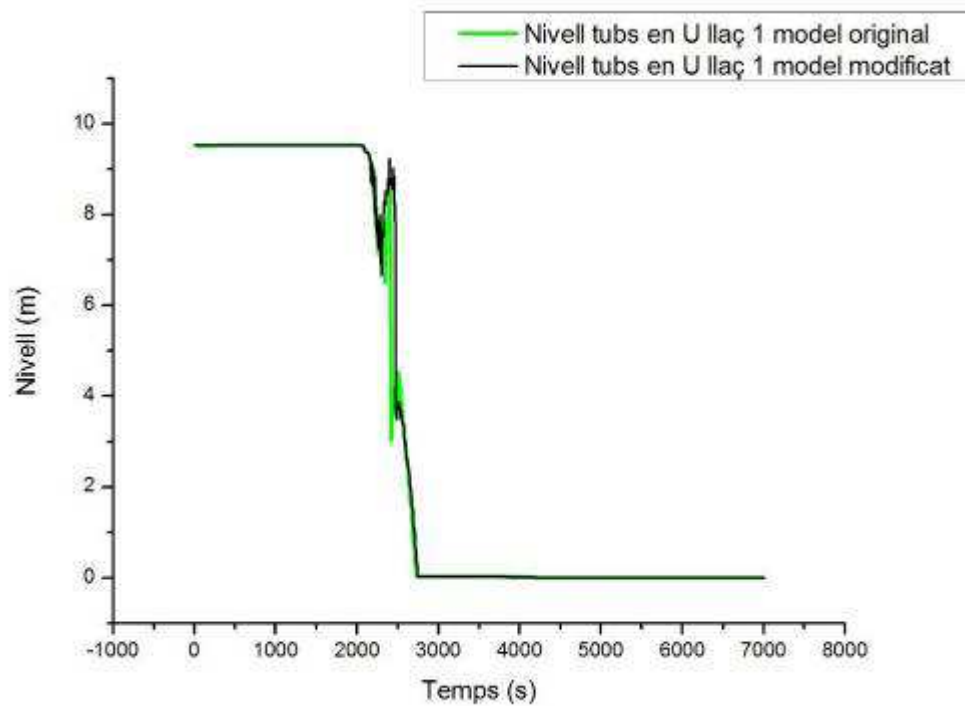


Figura 11: ROSA3.1: Nivell dels tubs en U, llaç 1

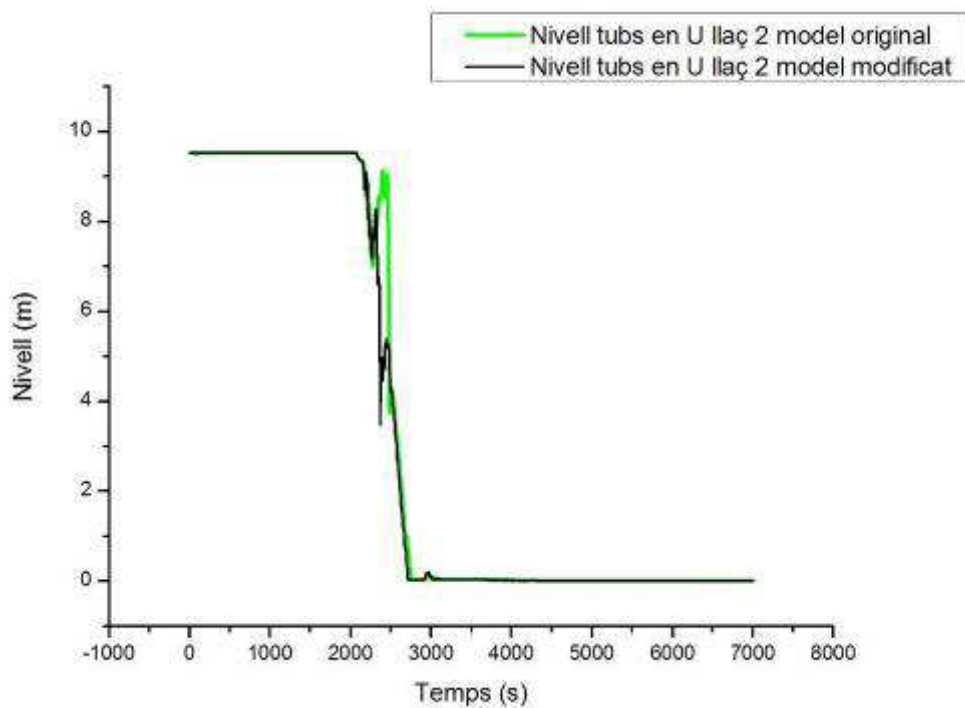


Figura 12: ROSA3.1: Nivell dels tubs en U, llaç 2



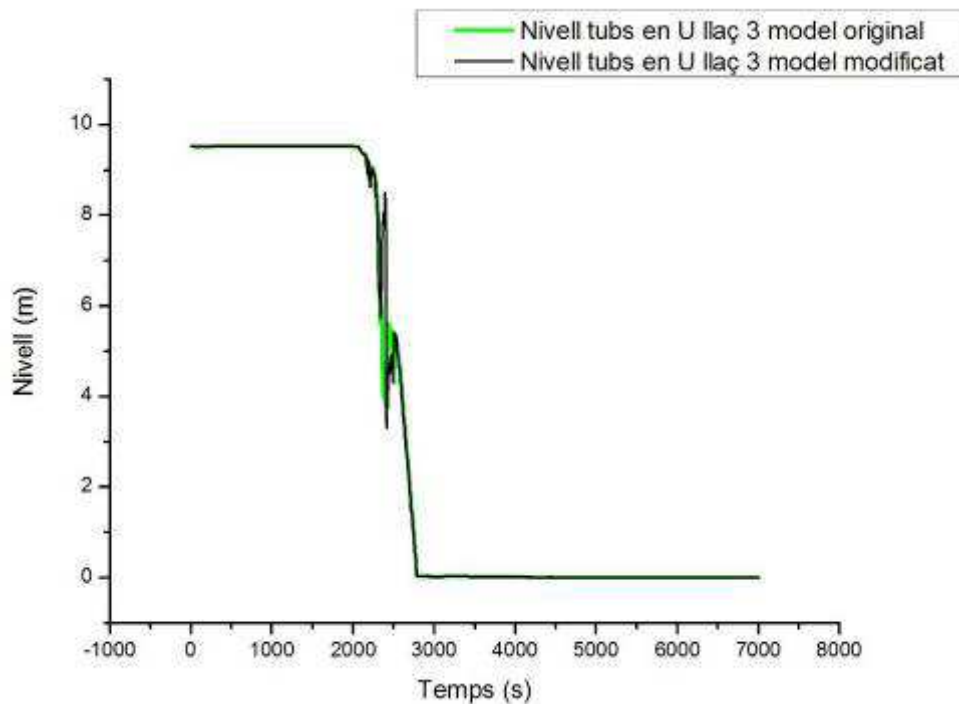


Figura 13: ROSA3.1: Nivell dels tubs en U, llaç 3

Com es pot observar, l'evolució dels principals paràmetres de l'experiment es comporten de forma similar en ambdós models durant el transitori. La despressurització del primari es igual en els dos models, mentre que la pressió del secundari, tot i simular la despressurització igual, en la fase final del transitori la pressió del sistema s'estaciona en valors diferents.

La resta de paràmetres (cabal de fuga, massa del primari, màxima temperatura de beina i nivell dels tubs en U) es comporten de forma equivalent en el model original i en el model modificat.

Aquest resultat demostra que el control incorporat al model simplificat és una millora vàlida per l'ús del model.

6.2 Creació de models híbrids Ascó-LOBI

A l'hora de fer una aplicació de planta d'un experiment realitzat en una ITF s'ha de tenir en compte que, a més a més de tractar-se d'instal·lacions a mides diferents, el disseny de la planta i dels components pot ser substancialment diferent. A partir d'aquesta idea neix el concepte de crear models híbrids: agafar la modelització d'una planta i substituir els components escalats de l'altra; més concretament, en aquest projecte es treballa amb la modelització d'Ascó i s'hi substitueixen els components de LOBI escalats al tamany d'Ascó¹.

Els components amb els que s'ha treballat en aquest estudi són:

¹ Una altra possibilitat, no tractada en aquest projecte, seria partir del model de LOBI i substituir components de la geometria d'Ascó.



- Generadors de vapor.
- Branques (freda, intermèdia i calenta, en un sol bloc).
- Cuva.

Per realitzar aquests models híbrids, s'implanten a la modelització d'Ascó la geometria (volums hidrodinàmics i estructures de calor) de LOBI corresponentment escalada, i s'adapta el control als canvis realitzats. Per agilitzar el posterior treball amb aquests models, s'han ordenat aquestes modificacions al final del document, procurant tocar el mínim possible l'apartat on es troba l'escalat de principi. D'aquesta manera es pretén que, tenint els diferents components en blocs, es puguin anar afegint de manera fàcil, acostant el model d'Ascó cada vegada més al de LOBI.

A l'hora d'escalar els diferents components s'han de tenir en compte les següent consideracions.

6.2.1 Connexió del pressionador

LOBI té una configuració modular, que permet connectar el pressionador tan al llaç intacte com al trencat. Els dos experiments escalats en aquest projecte, el BL-30 i el BL-44, tenen el pressionador connectat al llaç intacte i al llaç trencat, respectivament.

A més a més de tenir això present al definir la connexió del trencament, a l'hora d'escalar els generadors de vapor i les branques, s'haurà de tenir en compte que a Ascó el llaç amb el pressionador és el 400 (numeració segons la modelització) i per tant s'hauran d'escalar i de substituir els components amb els seus homònims d'Ascó d'acord a la configuració de l'experiment.

6.2.2 Factor d'escala

El factor d'escala d'Ascó amb LOBI és 443.58; aquest factor està calculat dividint el volum del primari d'Ascó per la de LOBI. A l'hora d'escalar els diferents components no es podrà fer servir aquest factor directament, sinó que s'haurà d'estudiar cas per cas, ja que no s'escala tot el volum del primari, sinó diferents components, i en les diferents plantes, al ser dissenys diferents, aquests components representen un percentatge diferent respecte el total.

Al escalar la cuva, s'aplica el factor d'escala calculant que la cuva resultant de multiplicar la cuva de LOBI per aquest factor haurà de tenir el mateix volum que la cuva original d'Ascó:

- Volum de la cuva de LOBI: 0.251314 m^3 .
- Volum de la cuva d'Ascó: 106.03 m^3 .
- Factor d'escalació de la cuva: 421.9030.

Com es pot observar, el factor resultant no difereix gaire del factor d'escala.

Al escalar les branques s'ha de procedir de la mateix manera que amb la cuva, amb la precaució de tenir en compte quina és la branca trencada, que el volum del llaç intacte s'haurà de repartir en dos llaços



intactes a Ascó, i on està connectat el pressionador. D'aquesta manera, el factor per cada branca serà diferent en els dos experiments.

- Volum de la branca intacte de LOBI: 0.101294 m^3 .
- Volum de la branca trencada de LOBI: 0.0293522 m^3 .
- Volum de la branca 200 d'Ascó: 13.1901 m^3 .
- Volum de la branca 300 d'Ascó: 13.1901 m^3 .
- Volum de la branca 400 d'Ascó: 13.35986 m^3 .

En BL30:

- Factor d'escalació de la branca 200 ($V_{200}/V_{\text{trencada}}$): 449.3733.
- Factor d'escalació de la branca 300 ($V_{300}/V_{\text{intacte}}$): 130.2161.
- Factor d'escalació de la branca 400 ($V_{400}/V_{\text{intacte}}$): 131.8920.

En BL44:

- Factor d'escalació de la branca 200 ($V_{200}/V_{\text{intacte}}$): 130.2161.
- Factor d'escalació de la branca 300 ($V_{300}/V_{\text{intacte}}$): 130.2161.
- Factor d'escalació de la branca 400 ($V_{400}/V_{\text{trencada}}$): 455.1568

Al escalar els generadors de vapor s'utilitzarà el factor d'escala $F_v = 443.58$, ja que els generadors representen la major part de la massa del secundari. Tot i així, s'ha de tenir en compte en quin llaç d'Ascó es col·locarà cada un, diferenciant els que corresponen al llaç intacte i al llaç trencat de LOBI, comptant a més que el llaç intacte és triple. D'aquesta manera, per escalar els generadors de vapor, s'agafaran les geometries corresponents de LOBI als llaços trencat i intacte i es multiplicaran pel següent factor:

- En el llaç intacte: $F_v \cdot 4/3 \cdot 1/3 = 197.147$

Al tractar-se d'un llaç triple, es multiplica per $4/3$ per tenir el volum total (de 4 llaços, corresponents a la planta original que emula LOBI) i després es multiplica per $1/3$, per tenir el volum unitari d'un llaç d'Ascó.

- En el llaç trencat: $F_v \cdot 4 \cdot 1/3 = 591.44$

Al tractar-se d'un llaç simple, es multiplica per 4 per tenir el volum total (de 4 llaços) i després es multiplica per $1/3$, per tenir el volum unitari d'un llaç d'Ascó.



7 BL30: Resultats i sensibilitats

7.1 Escalació de principi

Els resultats del càlcul escalat amb el model simplificat d'Ascó són a continuació, comparats amb els resultats del post –test de l'experiment executat amb el model de LOBI.

La figura 14 mostra la despressurització del primari. Es pot observar com la despressurització inicial, just després del trencament, es comporta igual en ambdós casos; tanmateix, l'instant del descobriment del trencament succeeix abans en el model d'Ascó, a $t=180s$ després del trencament, en front del post –test, on el descobriment succeeix a l'instant $t=250s$ després del trencament, i a partir d'aquest moment el ritme de despressurització canvia, sent més ràpid a Ascó que a LOBI.

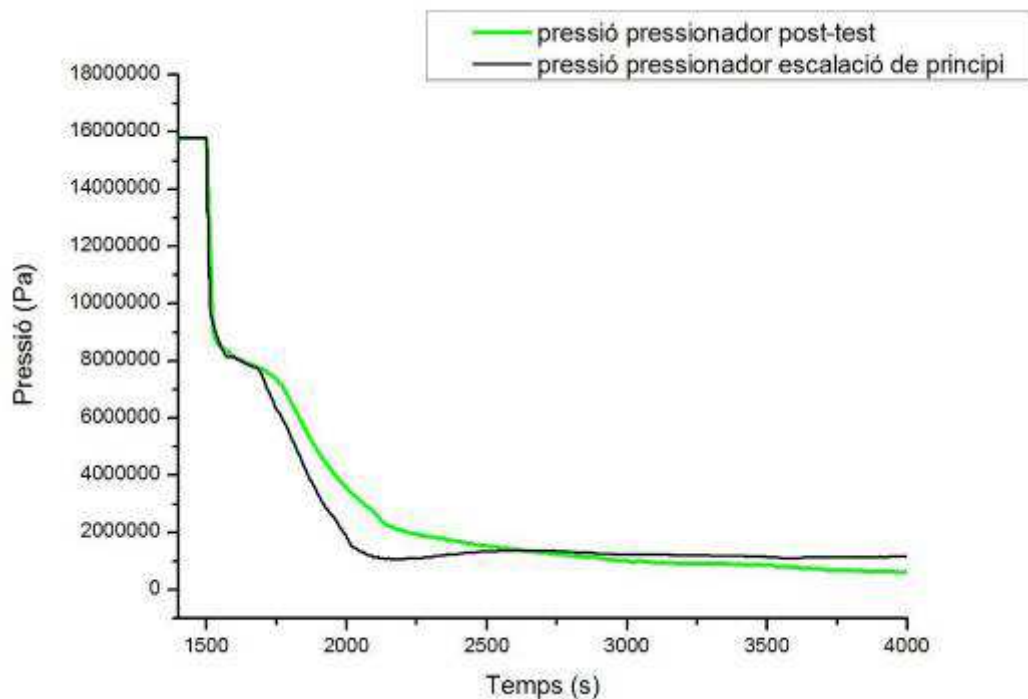


Figura 14: BL30: Pressió del primari (pressionador)

La figura 15 mostra l'evolució de la pressió del secundari. En ambdós casos hi ha un refredament imposat de 100 K/h, que s'inicia quan l'increment de pressió, degut al tancament de les línies de vapor després del trencament, activa la senyal.



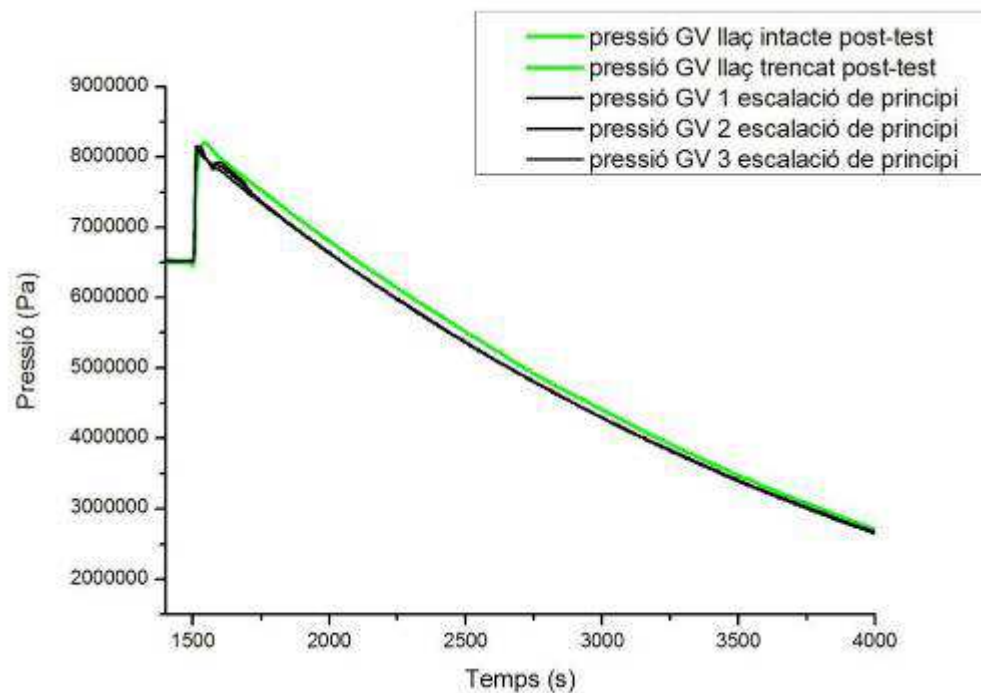


Figura 15: BL30: Pressió del secundari (cúpula dels generadors de vapor)

La massa que es perd pel trencament es pot observar en la figura següent. Durant el transitori el càlcul escalat a Ascó segueix una bona tendència, obtenint un resultat similar al del post –test. Tot i això, el valor final resulta més baix que en el post –test, degut a que la pressió del primari s'estabilitza en un valor superior que al post –test.

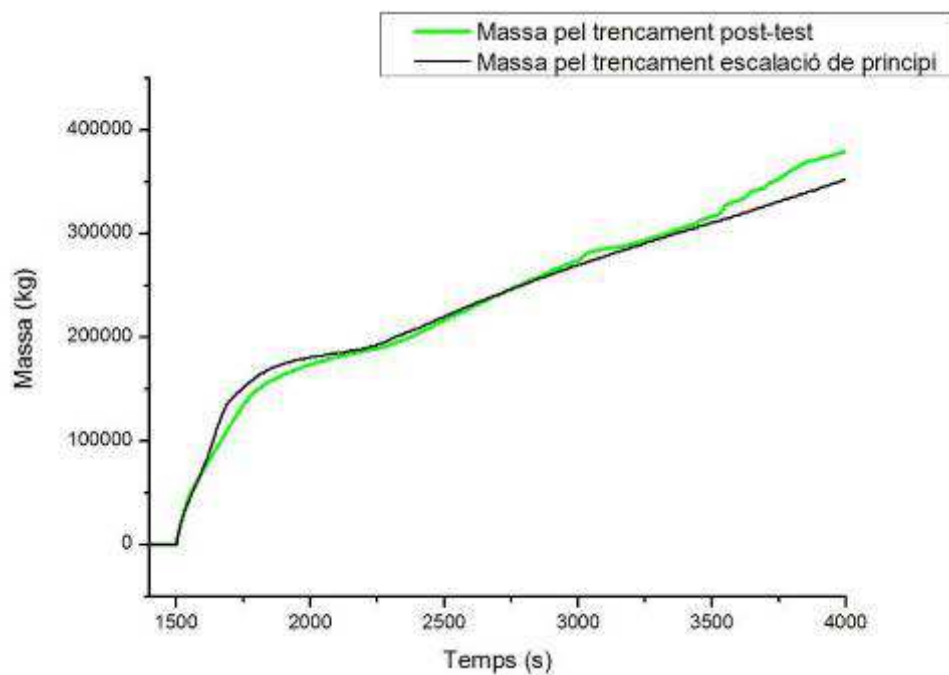


Figura 16: BL30: Massa fugada pel trencament

En la figura 17 hi ha graficat el cabal injectat pel sistema d'alta pressió HPI. L'evolució, diferent en els dos models, es un reflex de la despressurització del primari. Les dues corbes representen el cabal injectat al llaç intacte de LOBI i la suma del cabal injectat als dos llaços intactes d'Ascó.

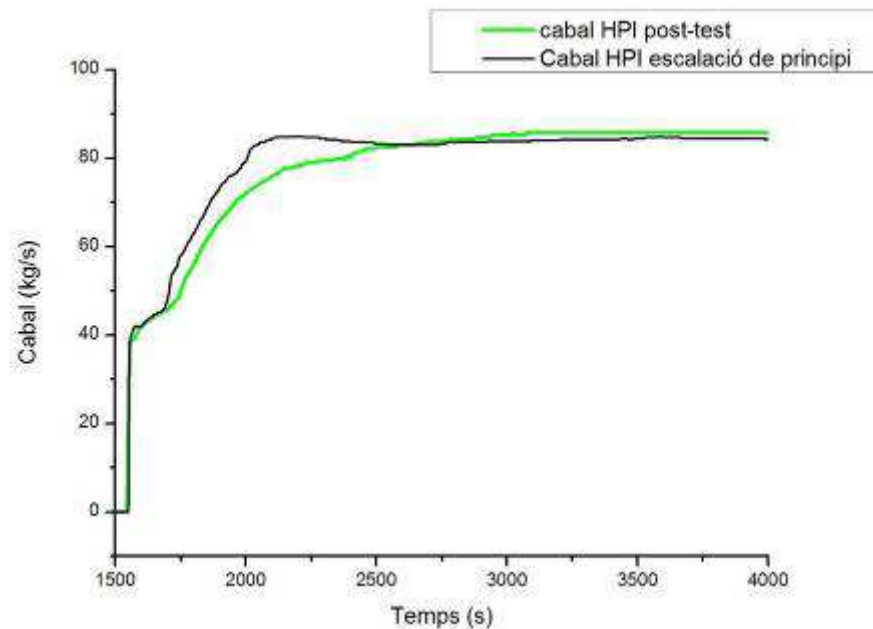


Figura 17: BL30: Cabal HPI

A continuació es pot observar la massa injectada pels acumuladors. En el model simplificat d'Ascó s'inicia abans la injecció ja que, al tenir una despressurització més ràpida, arriba abans al tarat d'entrada. Després, l'evolució es diferent degut a la diferencia en la pressió del primari.

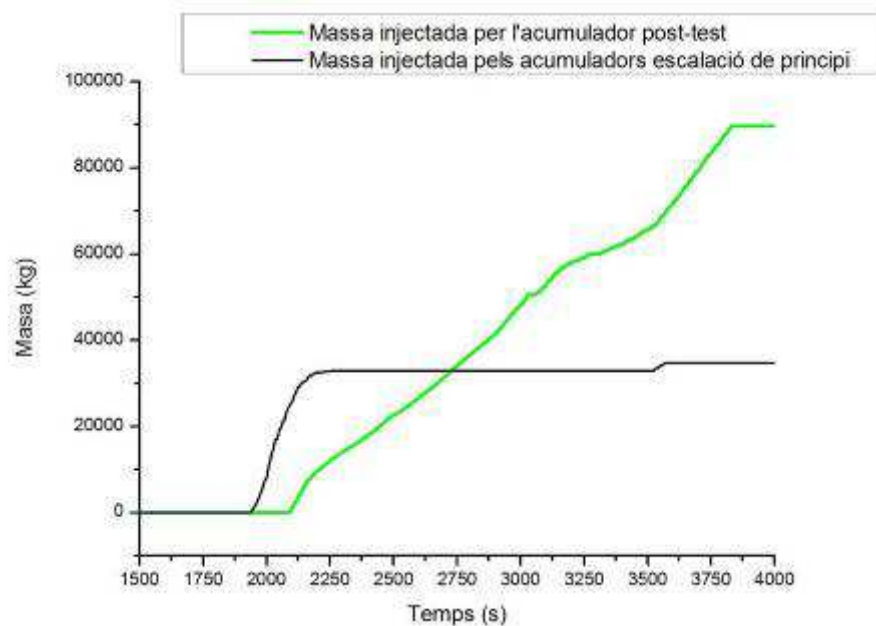


Figura 18: BL30: Massa injectada pels acumuladors



La figura següent mostra la massa del circuit primari. Aquesta disminueix després del trencament, i es recupera per l'aigua injectada pels acumuladors i pel sistema HPI. L'evolució és diferent en l'escalació de principi que en el post-test degut al diferent comportament dels acumuladors

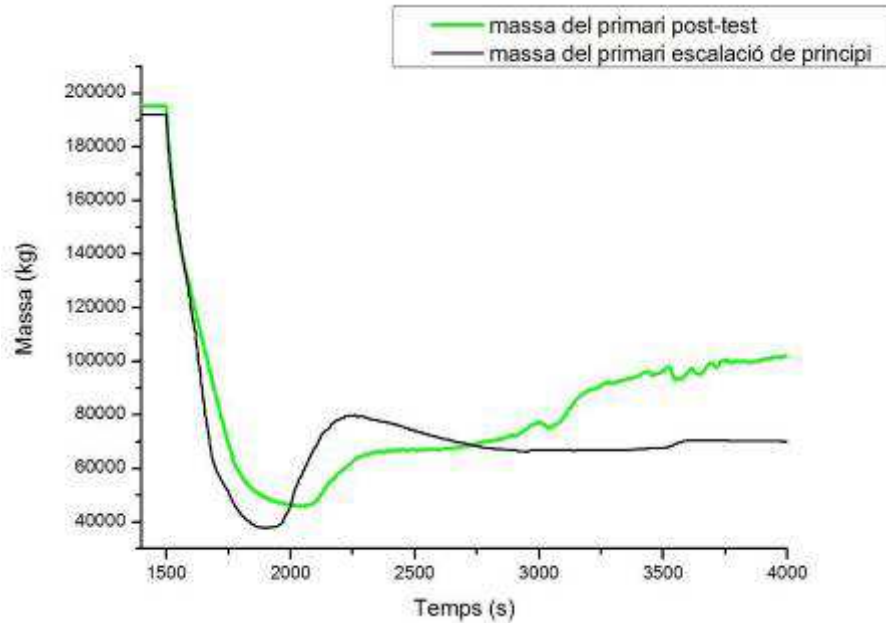


Figura 19: BL30: Massa del primari

La figura 20 mostra l'evolució de la temperatura de beina en el punt més alt. No hi ha cap descoberta del nucli; la temperatura disminueix degut a l'acció de l'HPI i dels acumuladors. La tendència en les dues simulacions difereix en relació a la massa injectada pels acumuladors.

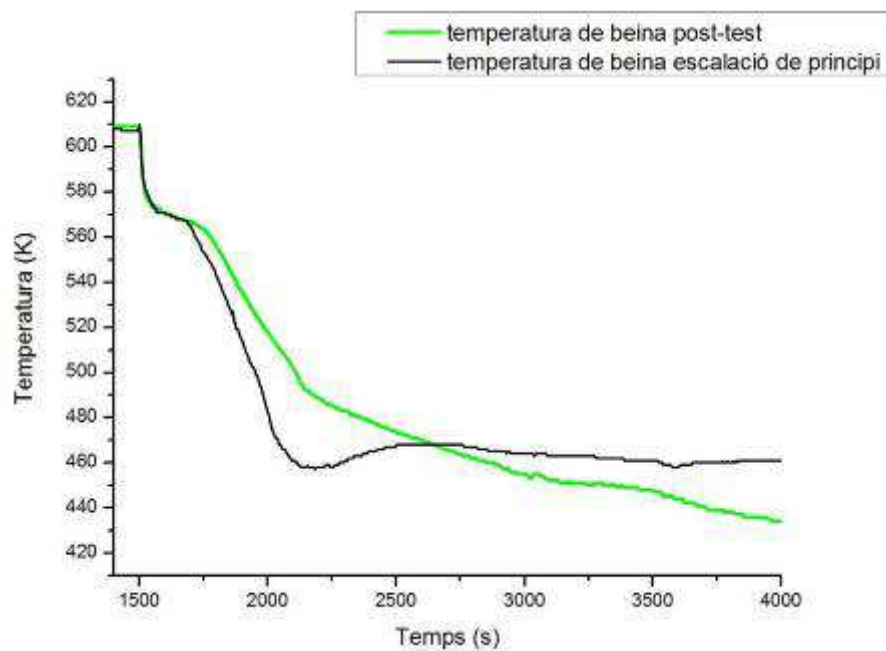


Figura 20: BL30: Temperatura de beina



7.2 Anàlisis de distorsions amb l'ajut de models híbrids

7.2.1 Efecte dels generadors de vapor

Al intercanviar els generadors de vapor, a més a més de canviar la geometria, es canvia la transferència de calor primari-secundari, degut a que es modifica l'àrea de transferència en els tubs en U; a LOBI l'àrea de transferència és aproximadament un 23% més petita que a Ascó (23.17% més petita si comparem l'àrea de transferència del primari, 23.63% més petita si comparem l'àrea de transferència del secundari).

Com es pot veure en les següents figures, aquest canvi no afecta substancialment durant el transitori; la despressurització del primari segueix la mateixa tendència que a l'escalació de principi. Tot i així, el fet d'haver canviat l'àrea de transferència afecta durant l'estat estacionari, assolint un estat d'equilibri amb l'aigua del primari més calenta que en l'escalació de principi.

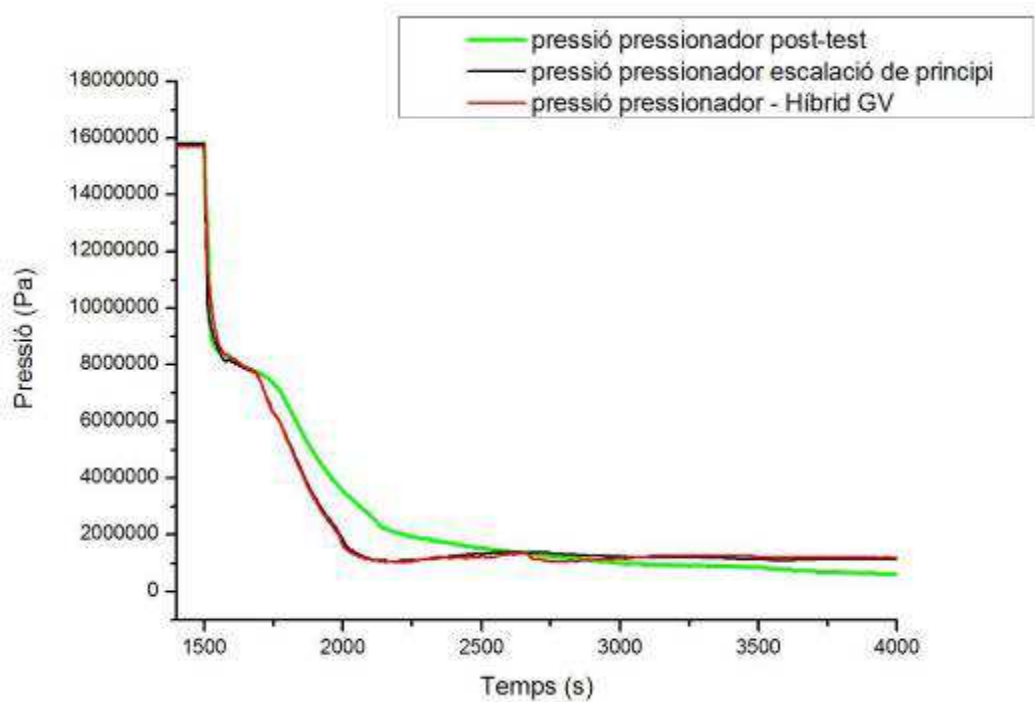


Figura 21: BL30 (Híbrid GV): Pressió del primari (pressionador)



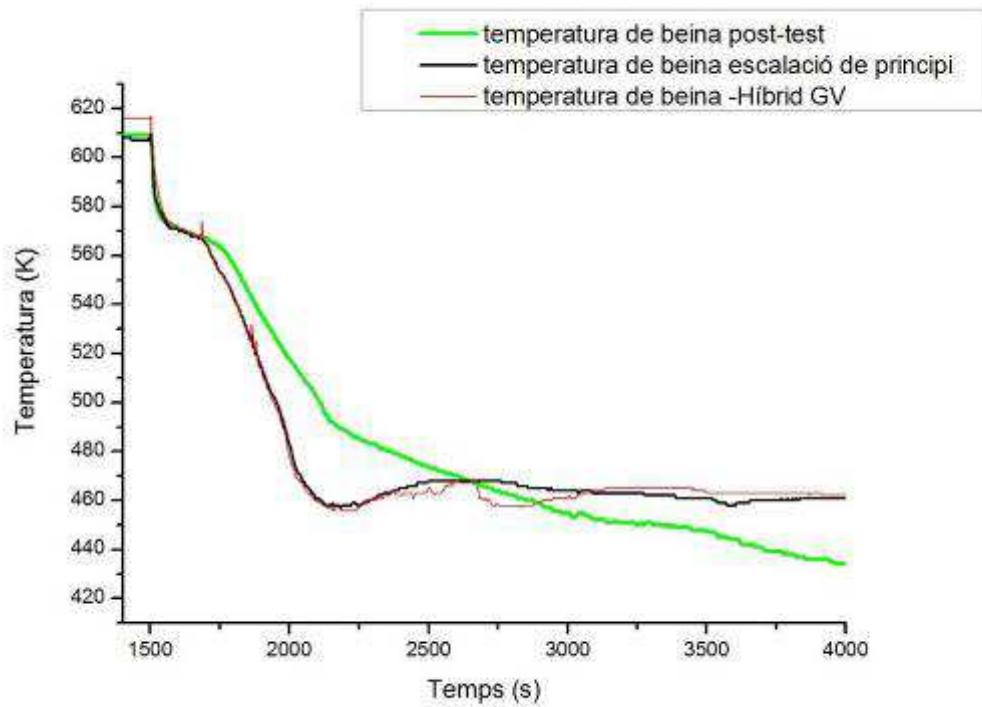


Figura 22: BL30 (Híbrid GV): Temperatura de beina

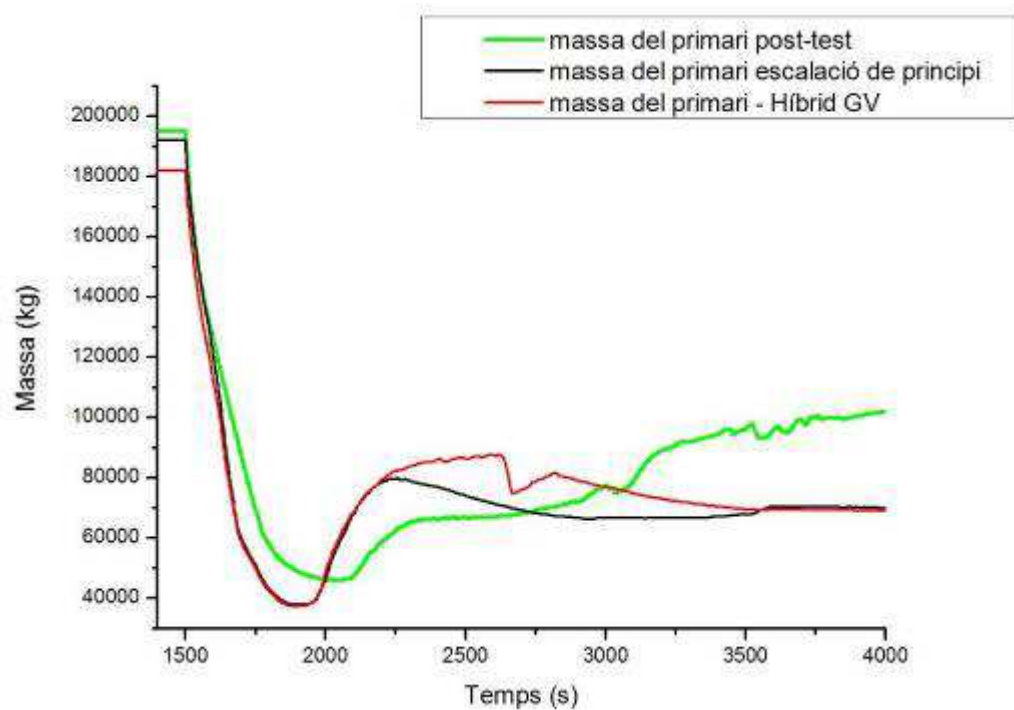


Figura 23: BL30 (Híbrid GV): Massa del primari



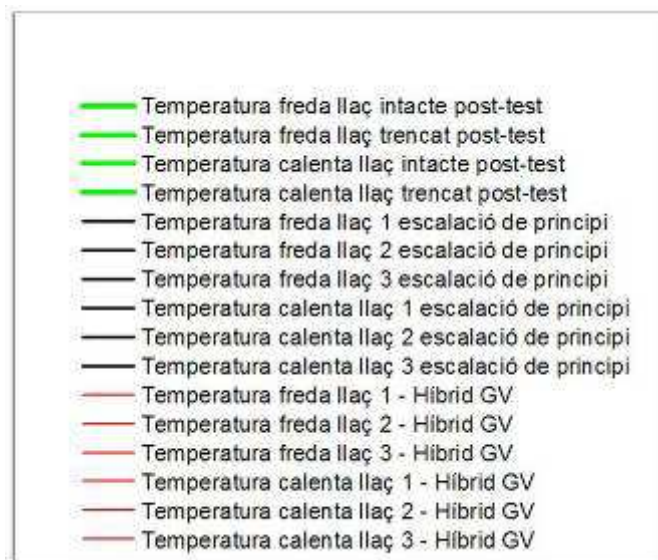
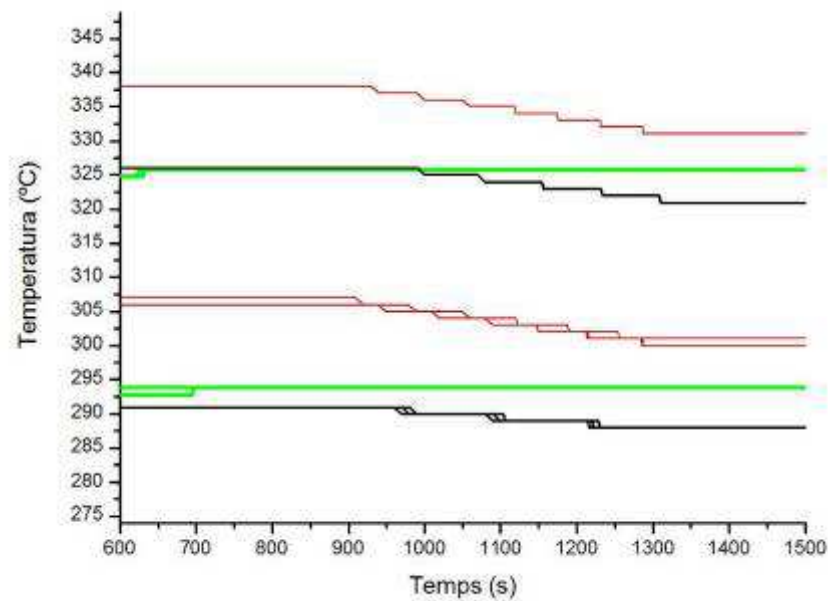


Figura 24: BL30 (Híbrid GV): Temperatures durant la fase d'acondicionament i l'estat estacionari

El fet que aquest canvi no afecti durant el transitori és previsible, ja que el comportament del secundari ve definit per la imposició del refredament, per lo que el canvi de geometria no intervé; el fet de canviar l'àrea de transferència de calor, el caure la potencia seguidament al trencament, fa que no tingui un gran impacte als resultats.

7.2.2 Efecte de les branques del primari

Al realitzar l'híbrid d'Ascó amb les branques de LOBI no s'aprecien canvis significatius en els diversos paràmetres. La despressurització del primari, així com l'evolució de la planta durant el transitori, són molt



semblants als resultats obtinguts en l'escalació de principi, per la qual cosa es pot dir que l'efecte de les branques en aquest transitori és poc rellevant.

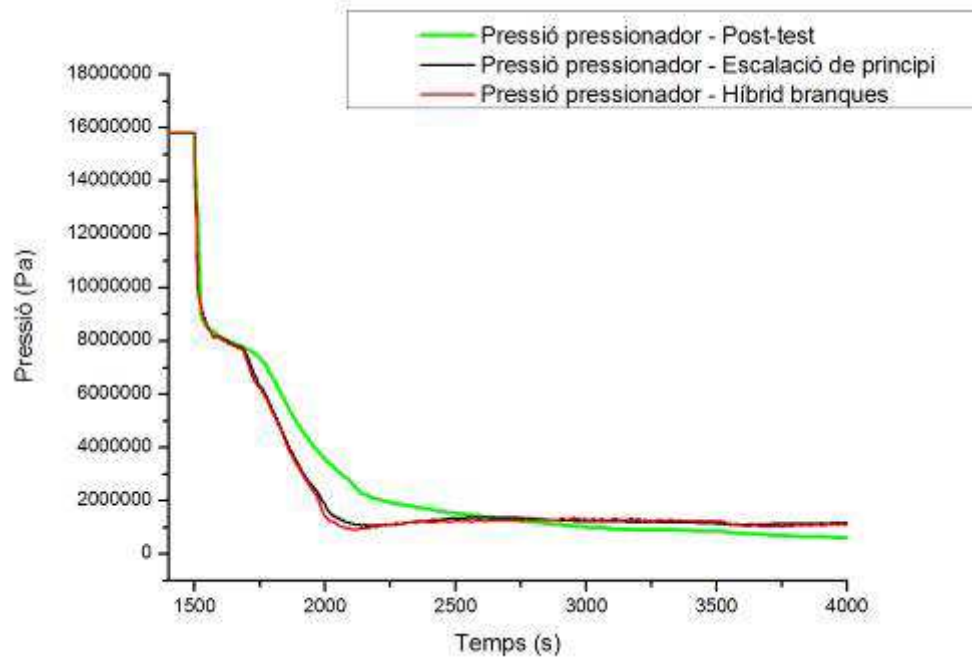


Figura 25: BL30 (Híbrid branques): Pressió del primari (pressionador)

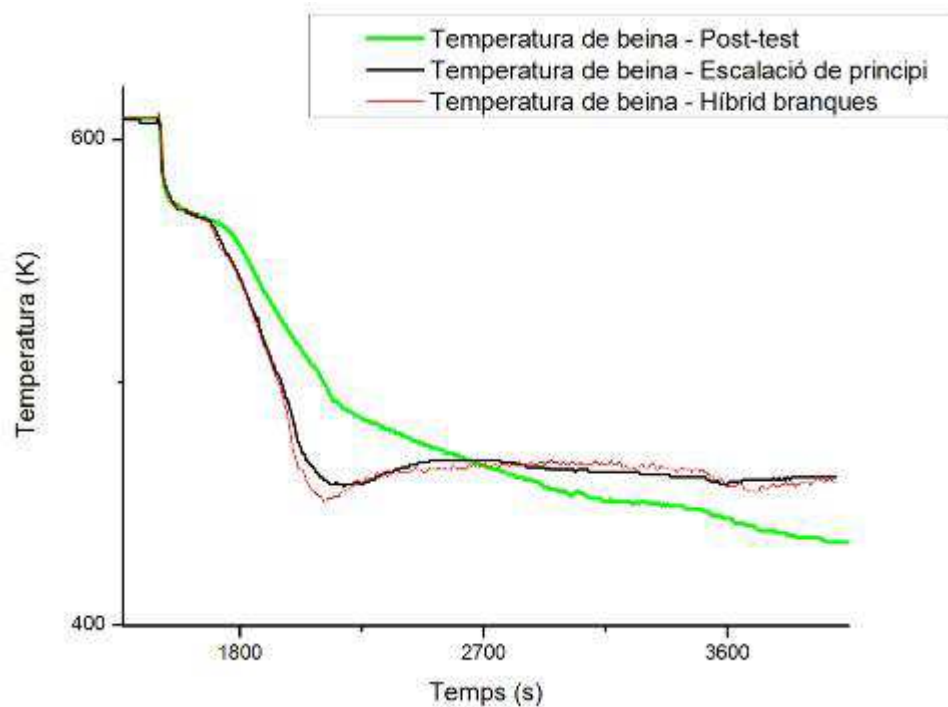


Figura 26: BL30 (Híbrid branques): Temperatura de beina



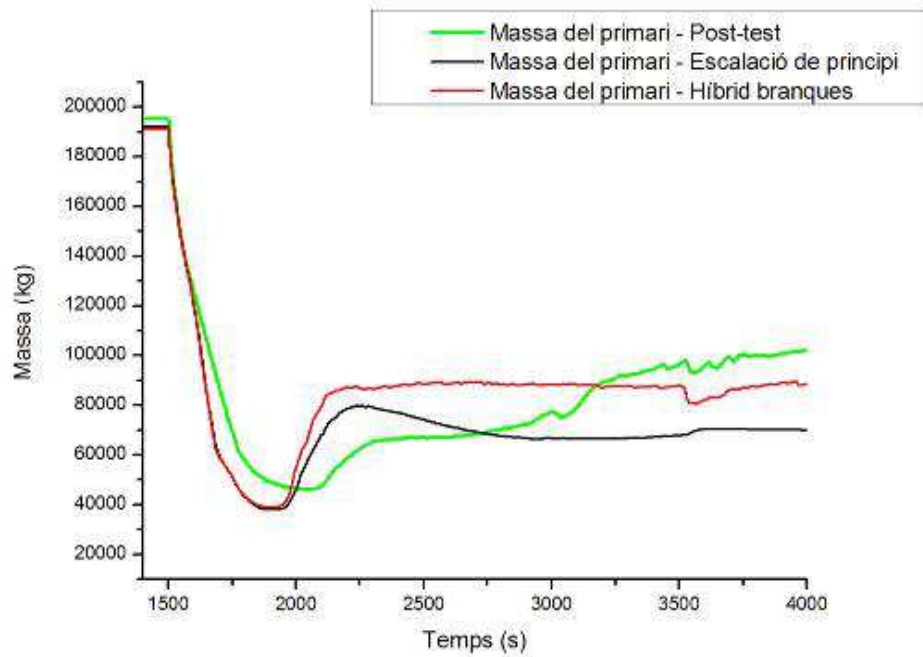


Figura 27: BL30 (Híbrid branques): Massa del primari

7.2.3 Efecte de la cuva

Els canvis produïts al canviar la cuva d'Ascó per la de LOBI són els més significatius dintre de les sensibilitats fetes amb models híbrids. Veient la despressurització del primari, observem que el canvi de despressurització degut al descobriment del trencament ocorre en el mateix moment que al post-test, però a partir d'aquí la despressurització és més brusca, assemblant-se més a l'escalat de principi que al post-test.

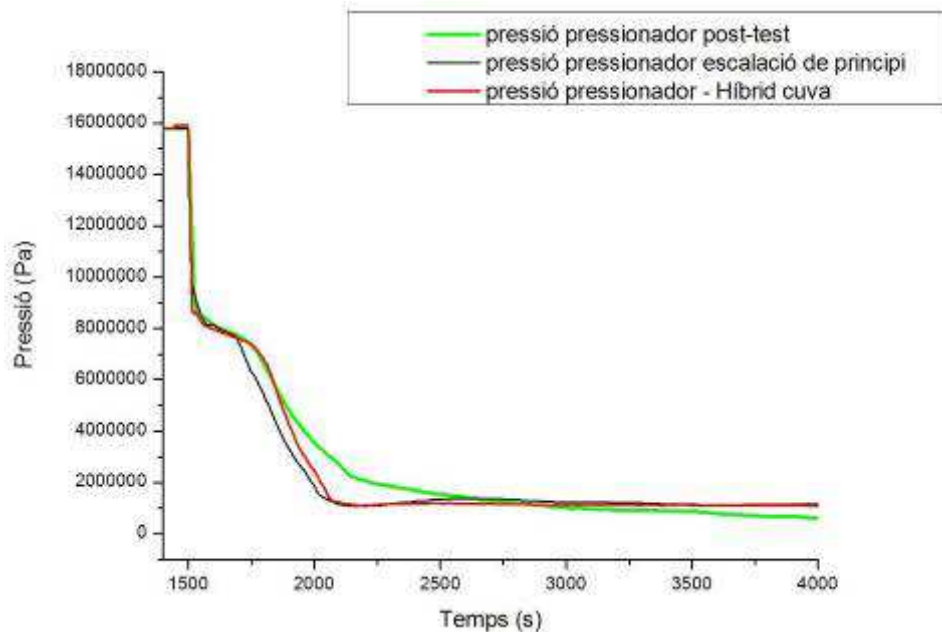


Figura 28: BL30 (Híbrid cuva): Pressió del primari (pressionador)



L'evolució de la temperatura de beina és similar al vist amb la pressió del primari, fins al descobriment del trencament segueix una tendència parella al post-test, però a partir d'aquest moment el refredament és més ràpid, tornant a seguir la tendència de l'escalat de principi.

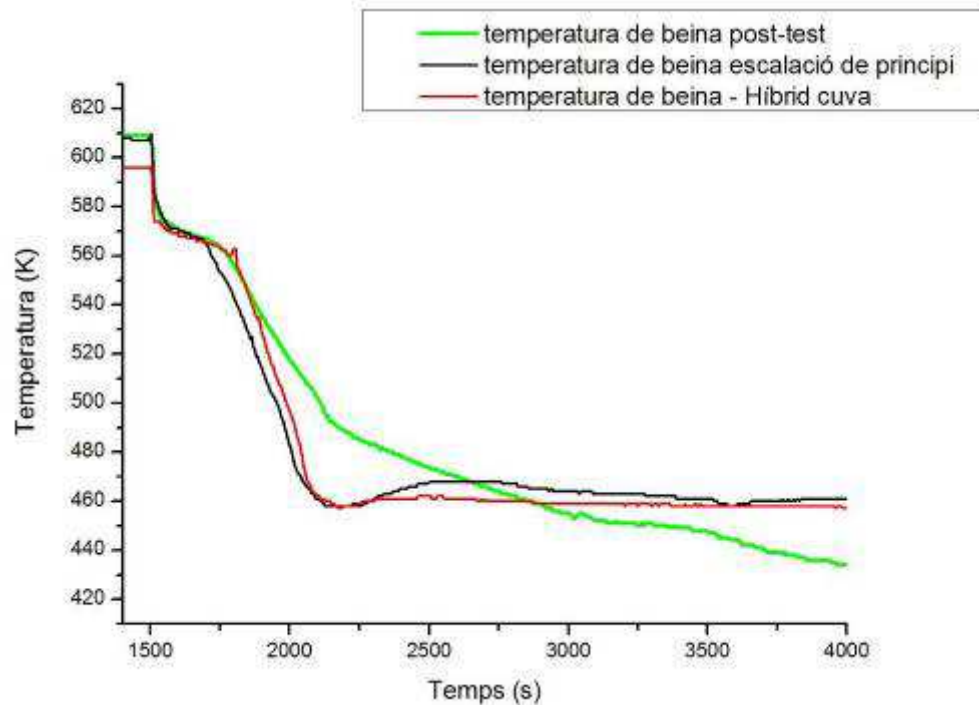


Figura 29: BL30 (Híbrid cuva): Temperatura de beina

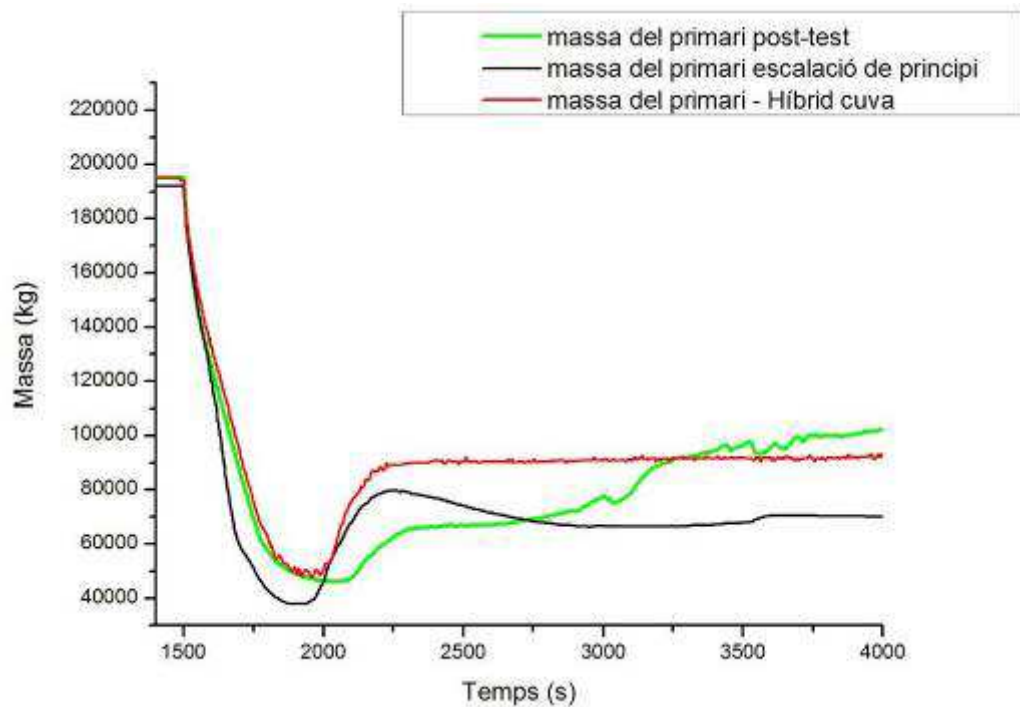


Figura 30: BL30 (Híbrid cuva): Massa del primari



7.3 Escalació pura

Després de realitzar les sensibilitats amb els models híbrids, es realitza l'escalació pura de LOBI: simular el mateix experiment BL30 amb el model de LOBI, multiplicat aquest pel factor d'escala 443.58, per tal que tingui el mateix volum que Ascó. D'aquesta manera, es poden veure les variacions introduïdes al resultat del post-test únicament degudes al factor d'escala; es a dir, tenint el mateix model de planta, però més gran.

A l'hora de realitzar el model de LOBI escalat, es va trobar un problema amb la modelització actual de LOBI, en concret amb la sortida de les branques calentes connectades a la cuva. Actualment, la sortida del nucli amb les branques calentes està connectada únicament a la cara superior del volum 420.

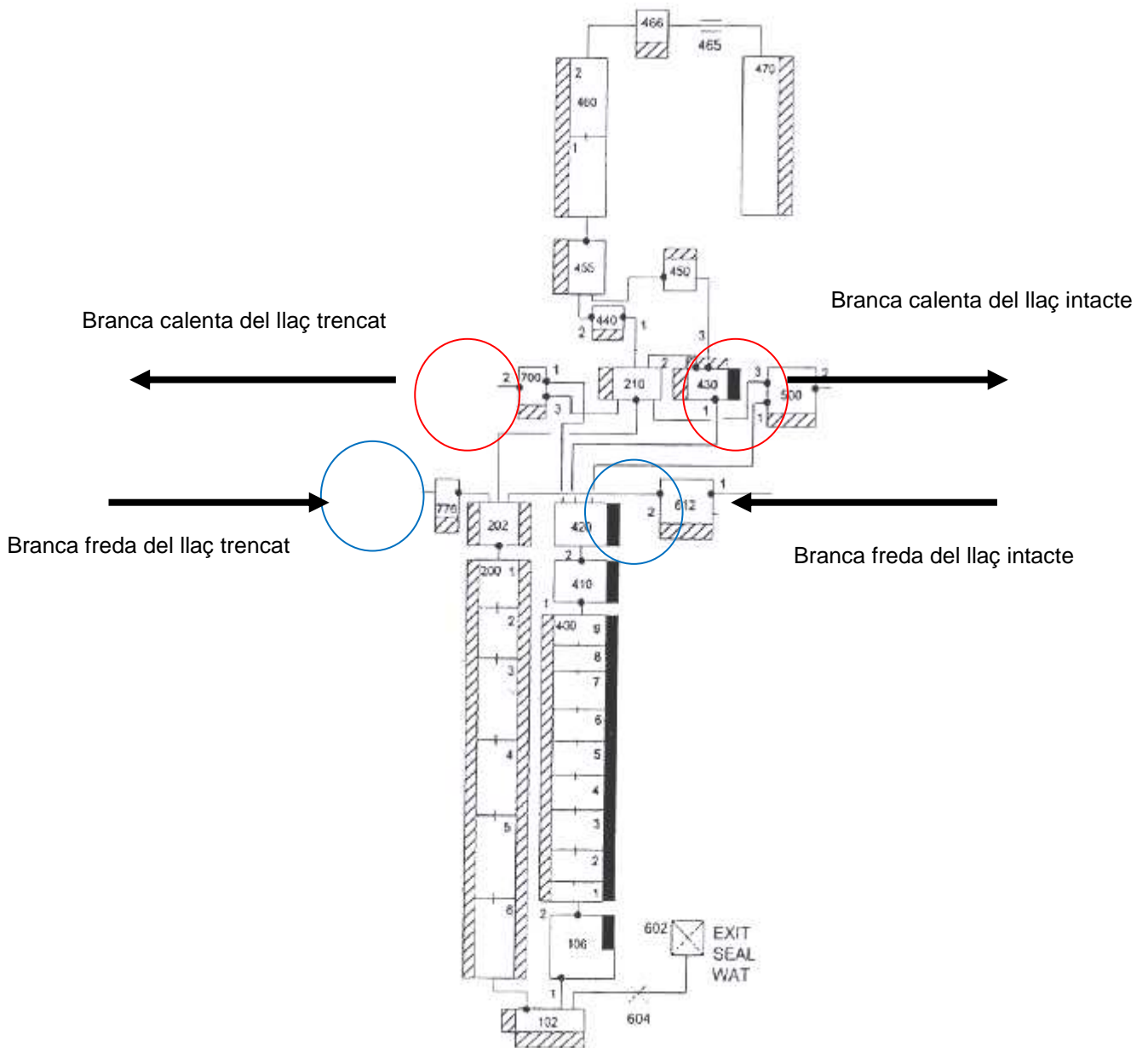


Figura 31: Cuva de LOBI



Això feia que el volum 430, el volum per sobre del 420, es buidés completament (únicament aquest volum, la resta de la cuva continuava inundada) i que la simulació no funcionés de manera correcta.

Aquesta connexió, a Ascó, està nodalitzada connectant les branques calentes a la cara superior del volum 140 i a la inferior del 150. Aplicant aquesta nodalització a LOBI, és a dir, dividint l'àrea de sortida actual del volum 420 entre aquest i el volum 430, el problema es soluciona i el transitori es pot simular.

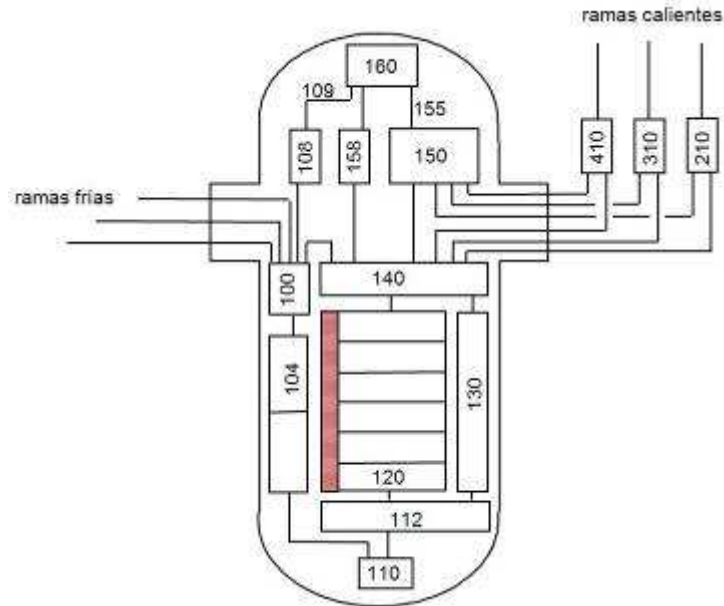


Figura 32: Cuva d'Ascó i modificació de la cuva de LOBI

En els gràfics següents es pot veure com la despressurització del primari segueix la mateixa tendència que amb l'escalació de principi, més que assemblar-se a al post-test. Aquest fet ens indica que el volum total del sistema i el factor d'escala tenen un impacte general en l'evolució del transitori, més que la configuració de la planta, ja que tan Ascó com LOBI escalat donen resultats similars sent instal·lacions diferents.

Referent a la resta de paràmetres, la pressió del secundari ve imposada pel refredament, per lo que no és apte per comparar; la massa del trencament és similar amb el post-test, però aquest és un paràmetre que a la escalació de principi ja seguia una evolució similar; el cabal d'HPI i la massa injectada pels acumuladors depenen principalment de la pressió del primari, per la qual cosa és normal que els resultats s'assemblin més a l'escalat de principi que no al post-test (igual que el resultat de la temperatura de beina màxima); i finalment la massa del primari, aquesta és manté per sobre del post-test i de l'escalat de principi, ja que es perd menys massa pel trencament. L'últim tram, un pic injecten els acumuladors i es reomple el sistema, l'evolució és similar amb l'escalat de principi, tenint primer una reinundació per després mantenir-se estable.



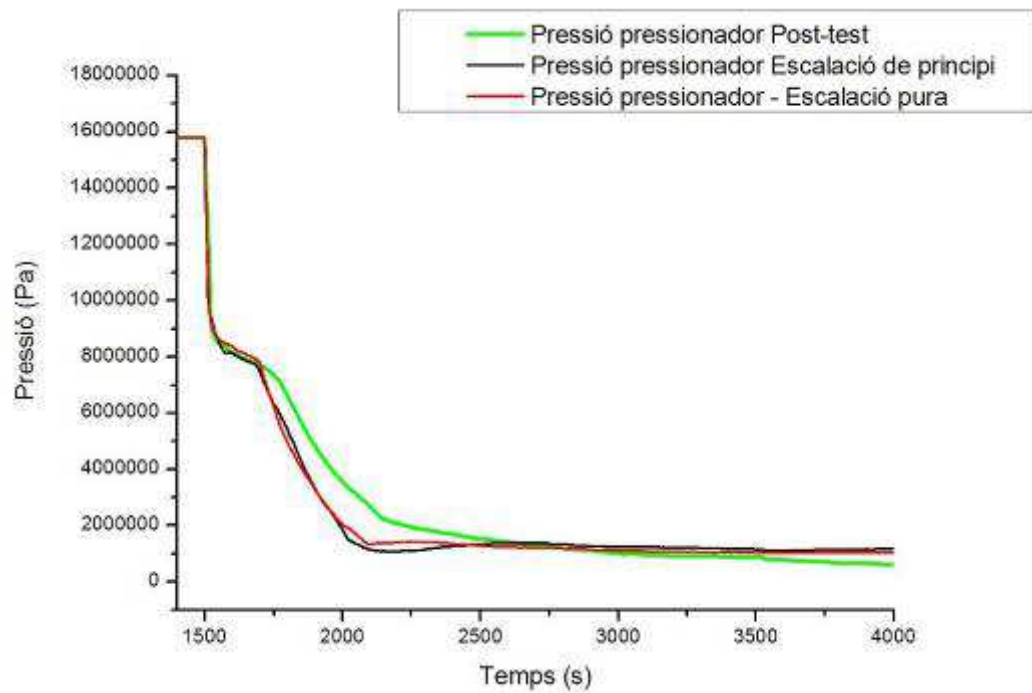


Figura 33: BL30 (escalació pura): Pressió del primari

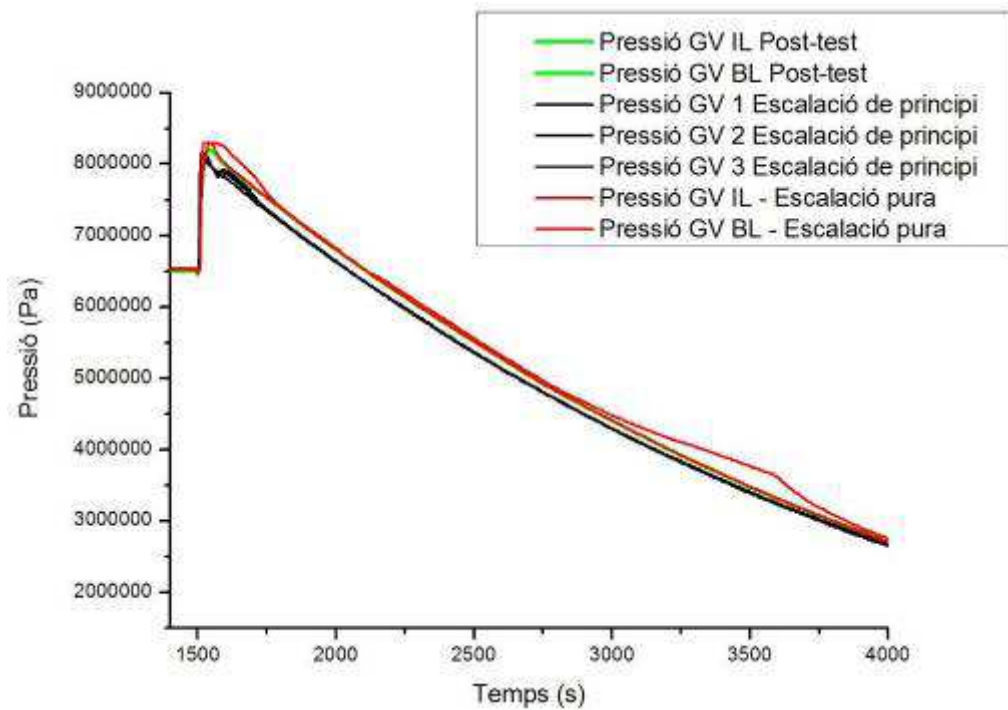


Figura 34: BL30 (escalació pura): Pressió del secundari

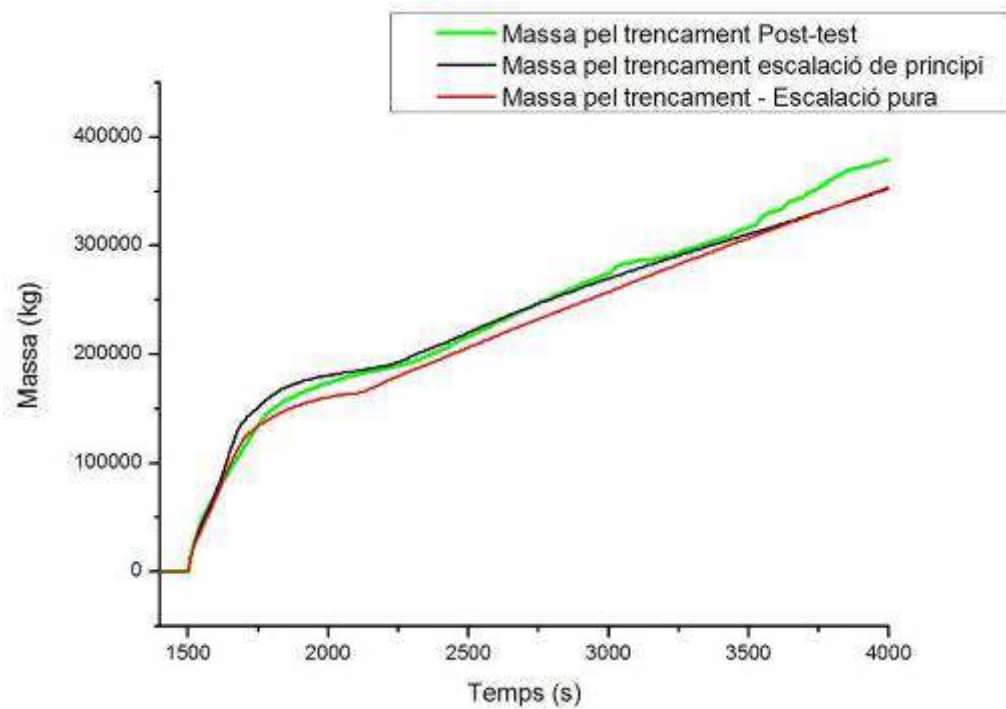


Figura 35: BL30 (escalació pura): Massa fugada pel trencament

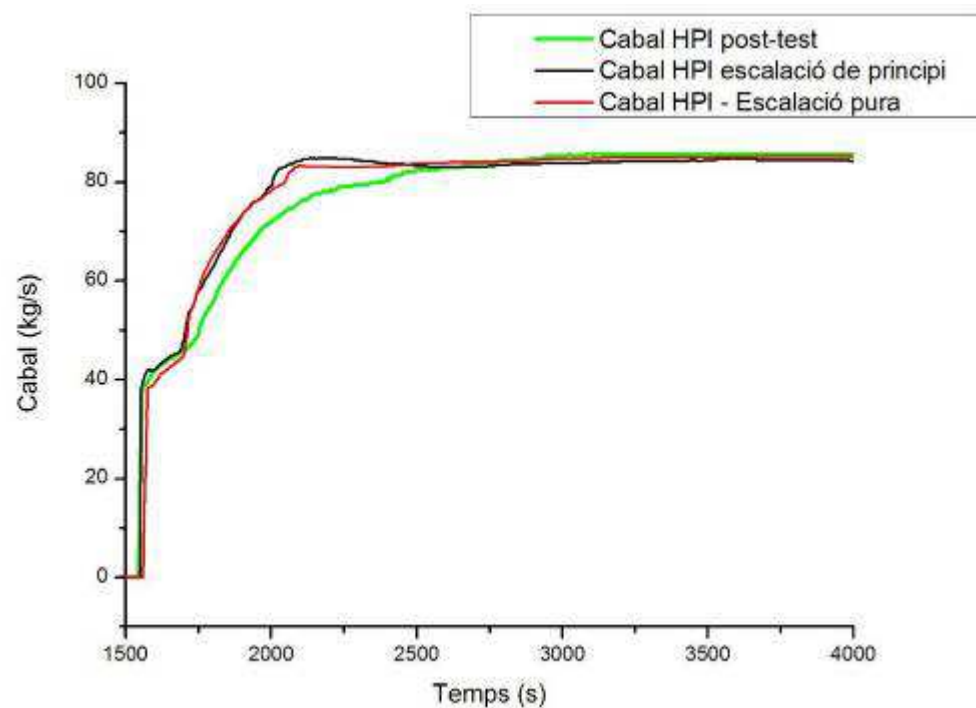


Figura 36: BL30 (escalació pura): Cabal HPI



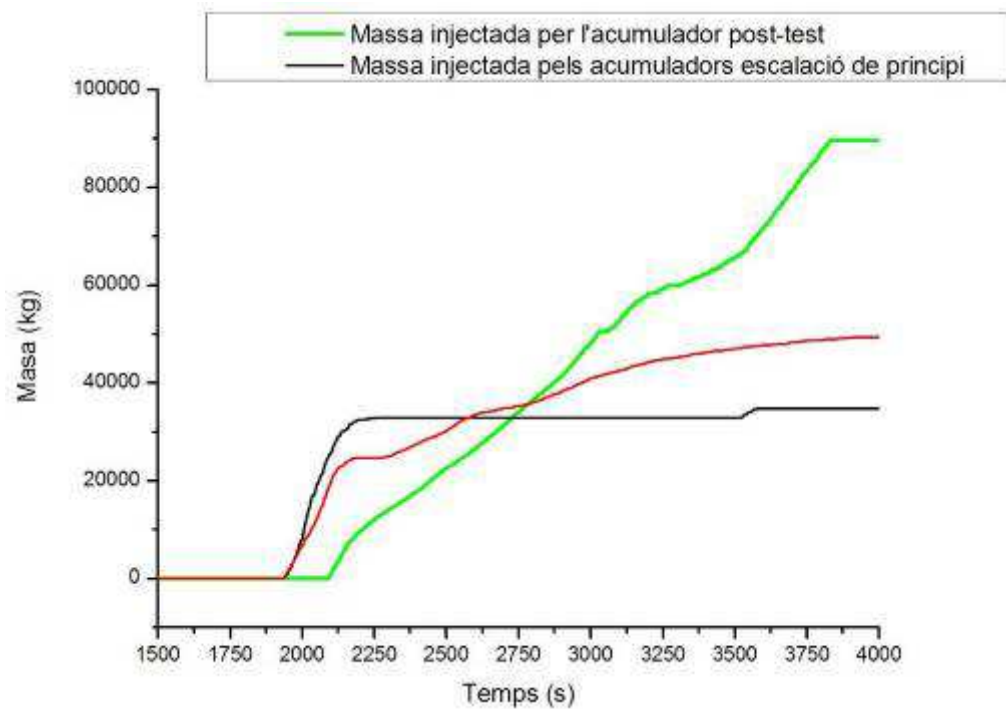


Figura 37: BL30 (escalació pura): Massa injectada pels acumuladors

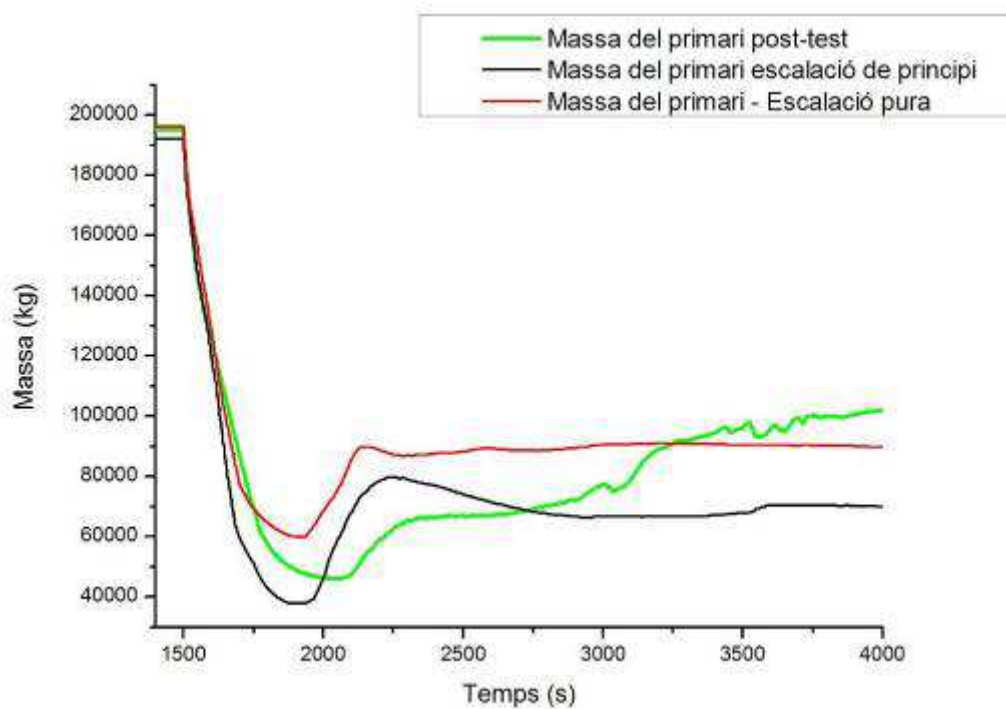


Figura 38: BL30 (escalació pura): Massa del primari



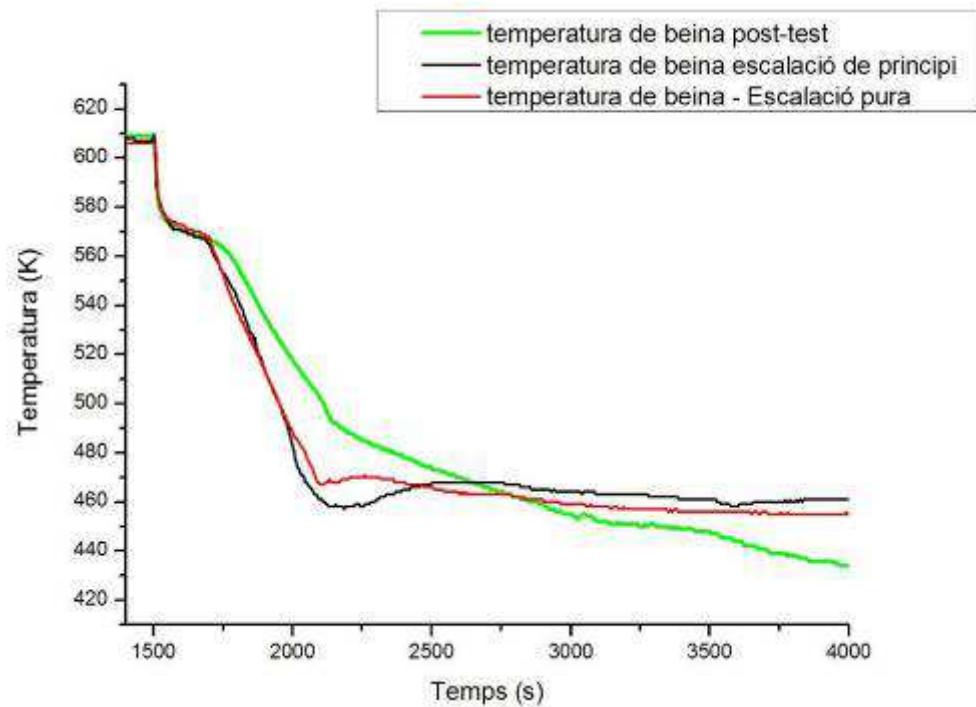


Figura 39: BL30 (escalació pura): Temperatura de beina

7.3.1 Sensibilitat: estructures de calor escalades per àrea

Després de realitzar l'escalació pura amb el BL30, es realitza una sensibilitat executant el mateix transitori, però escalant les estructures de calor per tal que les pèrdues amb l'ambient i les estructures passives segueixin el factor d'escala (al dependre generalment del diàmetre hidràulic, en l'escalació pura només es veuen afectades per l'arrel del factor d'escala).

Al realitzar aquesta sensibilitat s'observa ràpidament com la despressurització del primari segueix una evolució similar amb els resultats del post-test de l'experiment. Tanmateix, tot i ser la sensibilitat que proporciona uns resultats més pròxims al post-test, en aquesta simulació apareix un pic de temperatura de beina degut a un buidat del nucli. Encara que no ocorre durant l'experiment, en la configuració inicial del BL30 estava previst que el nucli es buidaria durant el transitori. Que aparegui ara aquest pic de temperatura pot ser degut al fet d'haver portat la instal·lació a una escala real (el tamany de la planta d'Ascó), amb l'afegit d'haver modificat la nodalització de la sortida de les branques calentes del nucli (explicat abans) i haver escalat les estructures de calor.



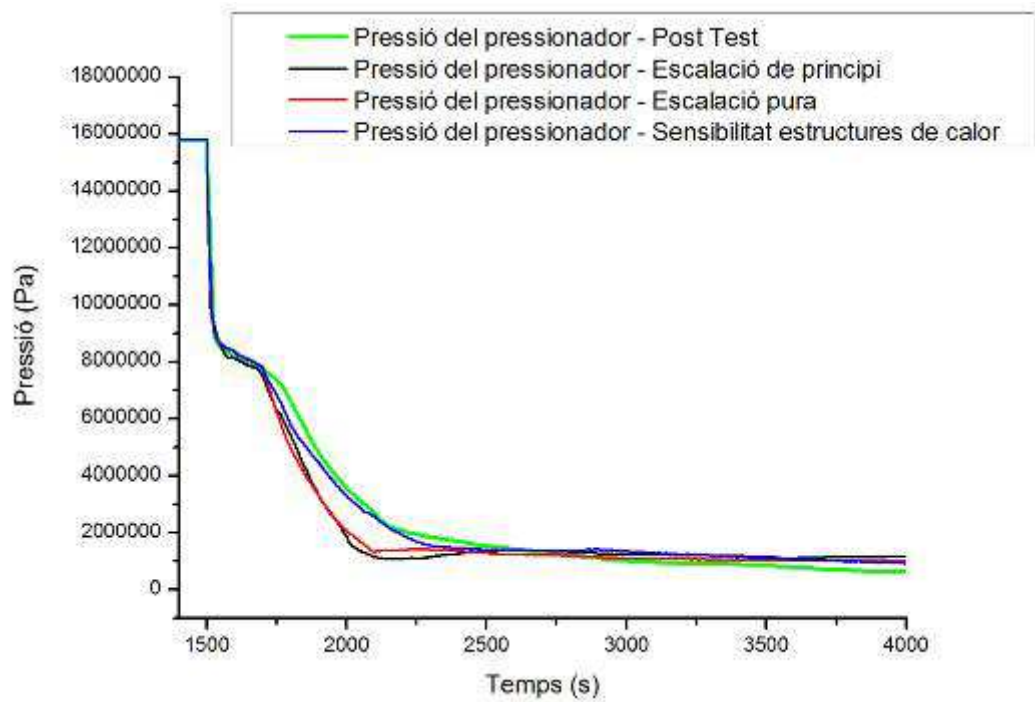


Figura 40: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Pressió del primari

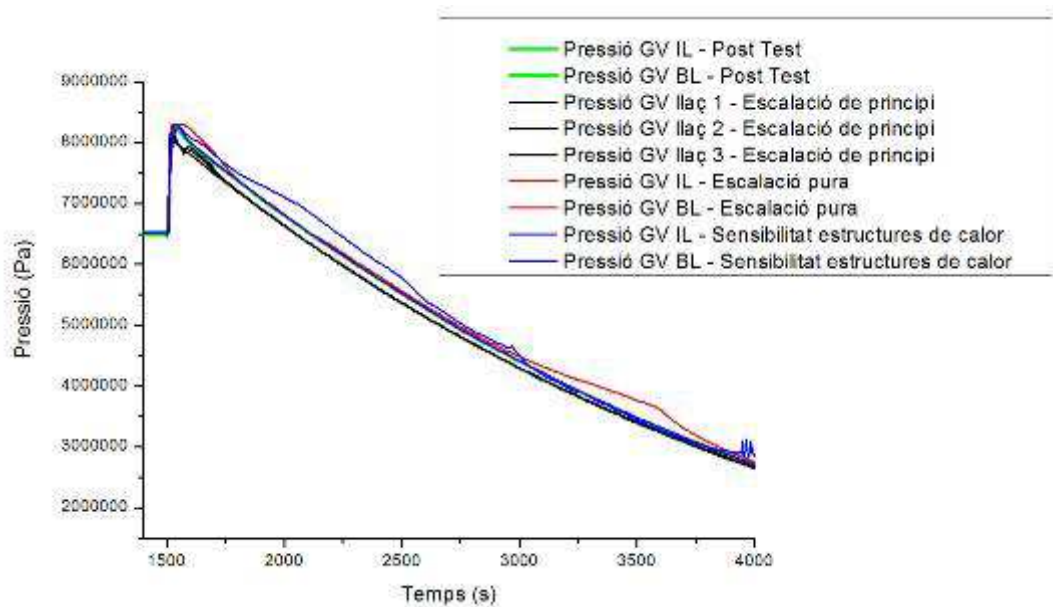


Figura 41: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Pressió del secundari



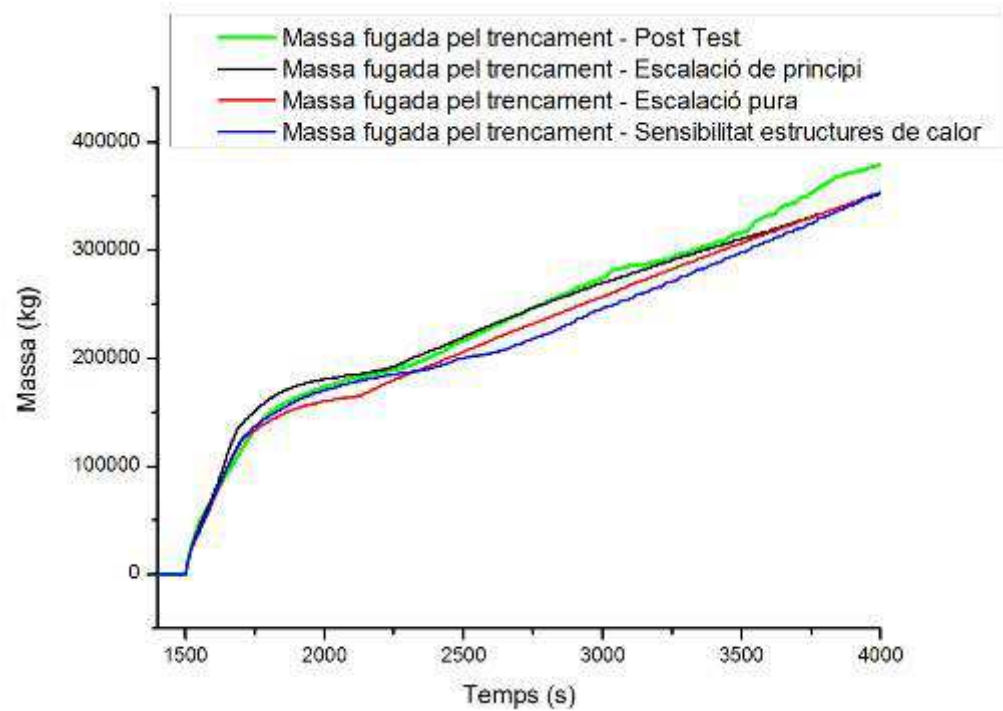


Figura 42: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Massa fugada pel trencament

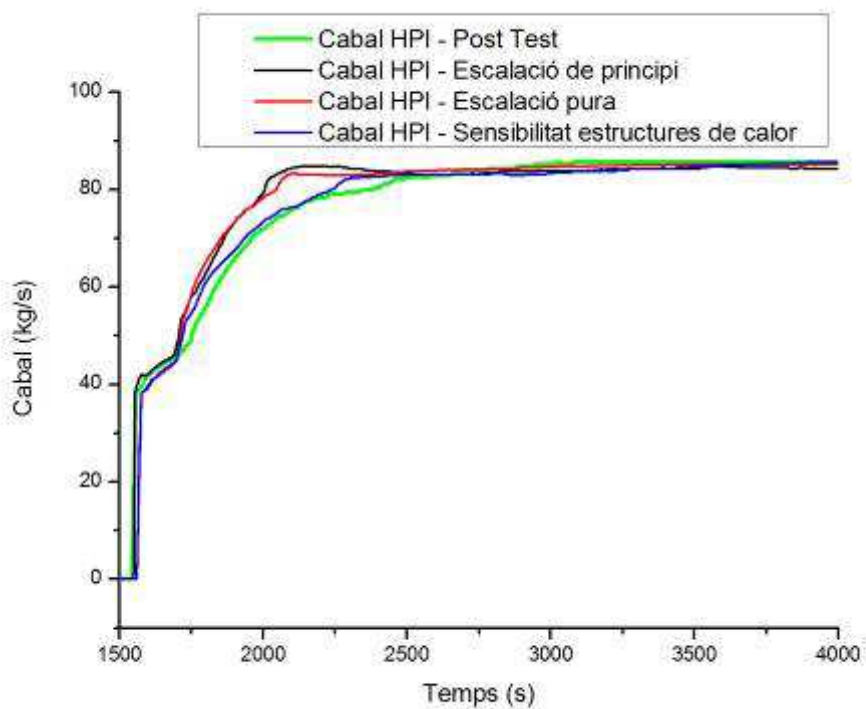


Figura 43: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Cabal HPI



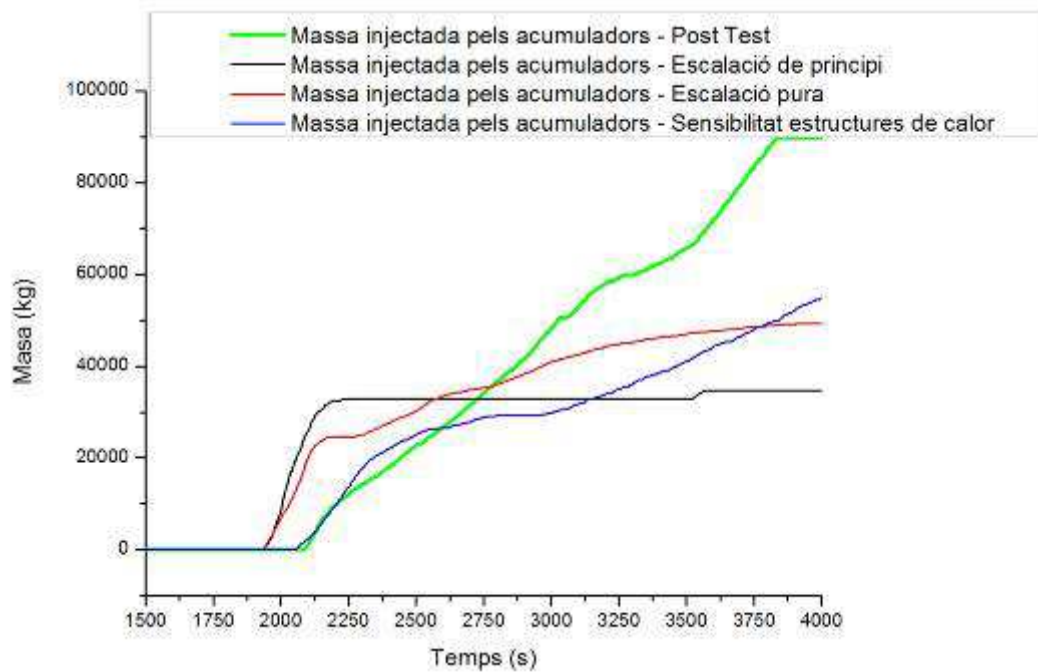


Figura 44: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Massa injectada pels acumuladors

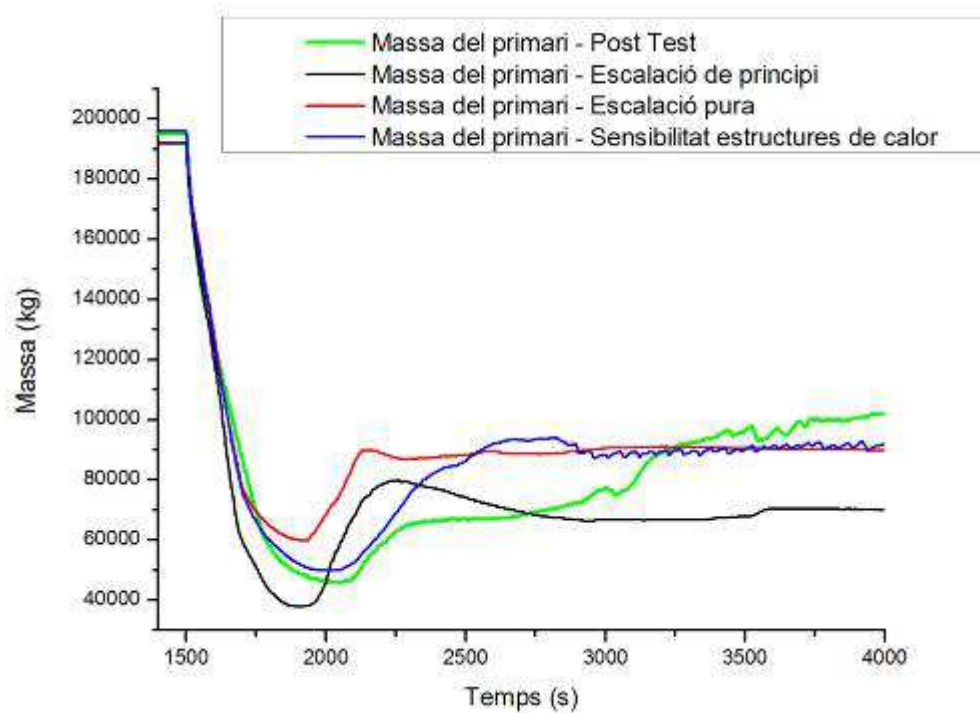


Figura 45: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Massa del primari



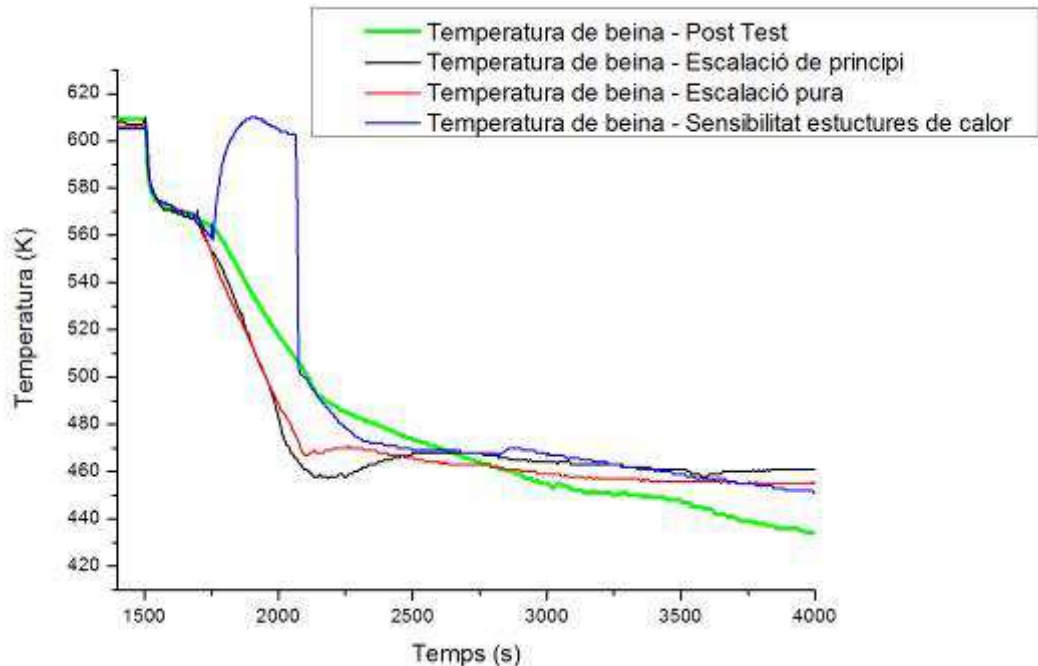


Figura 46: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Temperatura de beina

Per intentar explicar aquest pic a la temperatura de beina, a continuació s'inclouen els resultats del volum d'aigua a diferents volums del nucli, representat per la fracció de buit, en tant per u.

El nucli de LOBI (volum hidràulic 400) està dividit en 9 volums, i a més a més transmet potència als volums 106 (per sota) i 410, 420 i 430 (per sobre), tot i que de manera més residual, comparant-los amb la potència dels subvolums del 400. Mirant el volum d'aigua del nucli durant el transitori, comparant l'experiment amb la planta de LOBI a tamany real i a tamany escalat, podem veure el següent:

- En ambdós casos, el nucli es buida a partir del volum 430, volum que queda per sobre de les branques, i es manté buit durant el transitori.
- En el post-test, LOBI a tamany real de la instal·lació, hi ha un buidat del nucli en el volum 420, a l'instant 1800, i es reinunda al 2100 per efecte dels acumuladors.
- En la simulació amb LOBI escalat al tamany d'Ascó, el buidat arriba fins al nivell del subvolum 8 del nucli. Els instants del buidat i la reinundació són similars als de la simulació del post-test.

Amb aquestes dades, es pot pensar que en la simulació escalada de LOBI es perd més aigua que en el post-test, però revisant la gràfica on es mostra la massa del primari veiem que ocorre just el contrari. Això indica que el que passa és que hi ha una distribució diferent de la massa d'aigua.



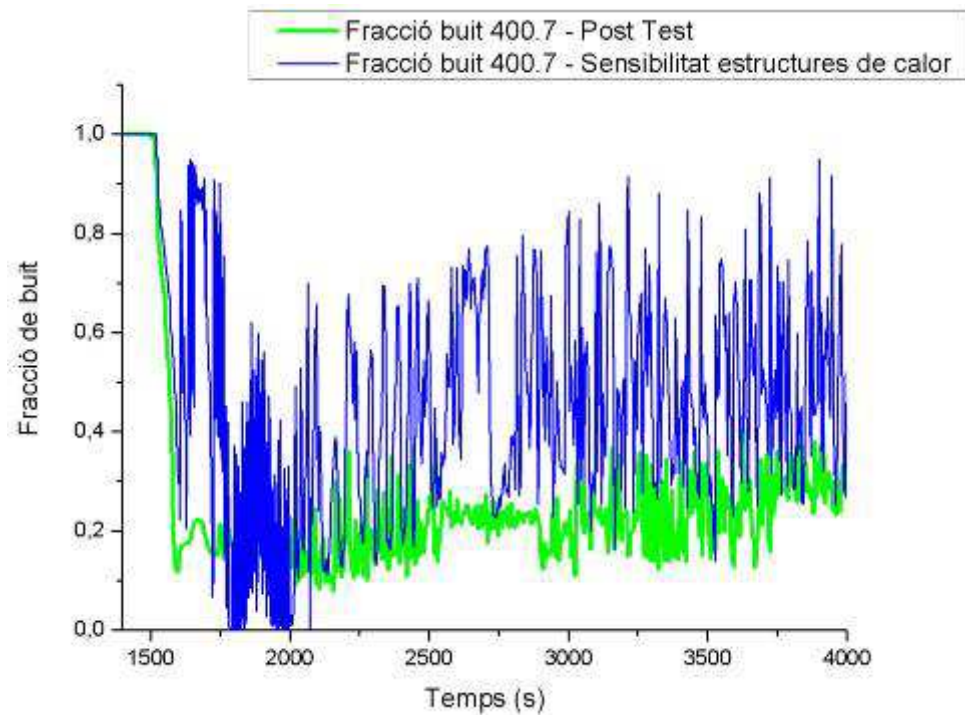


Figura 47: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Fracció de buit del volum 400.7

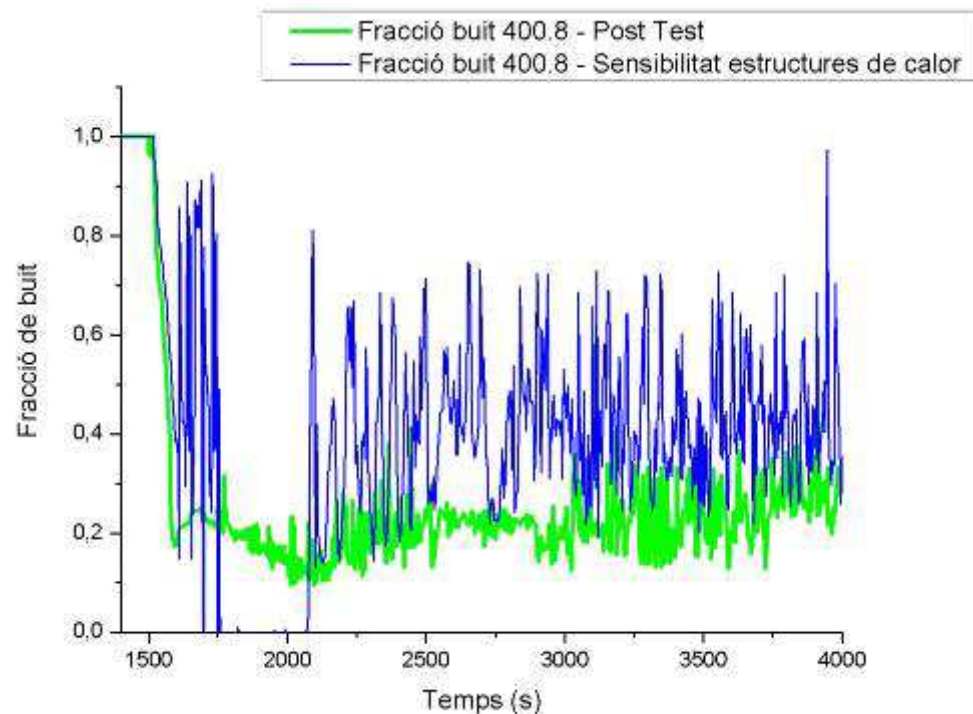


Figura 48: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Fracció de buit del volum 400.8



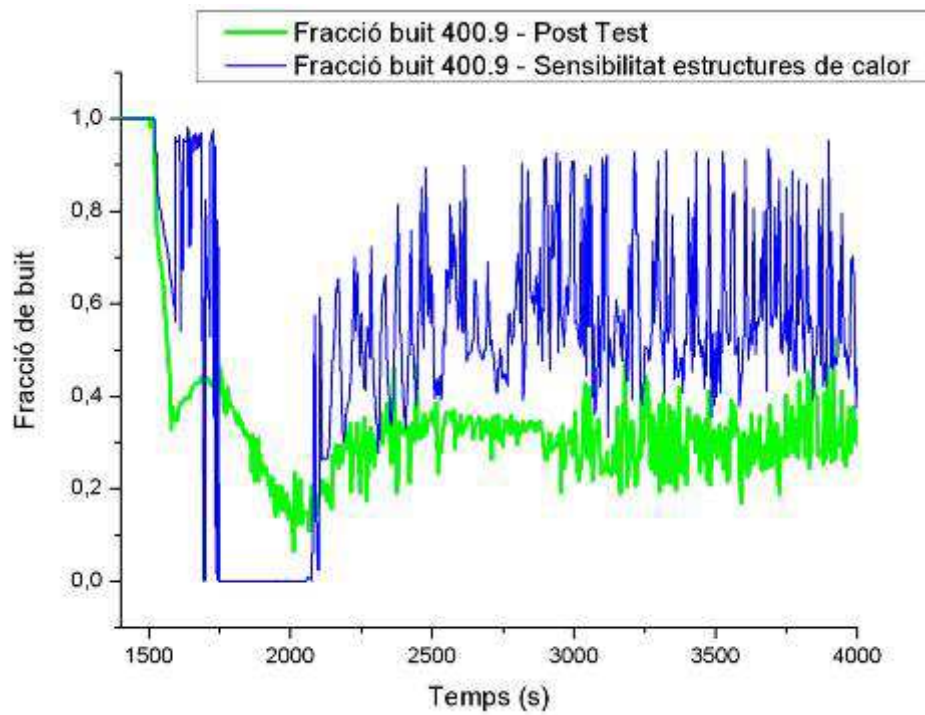


Figura 49: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Fracció de buit del volum 400.9

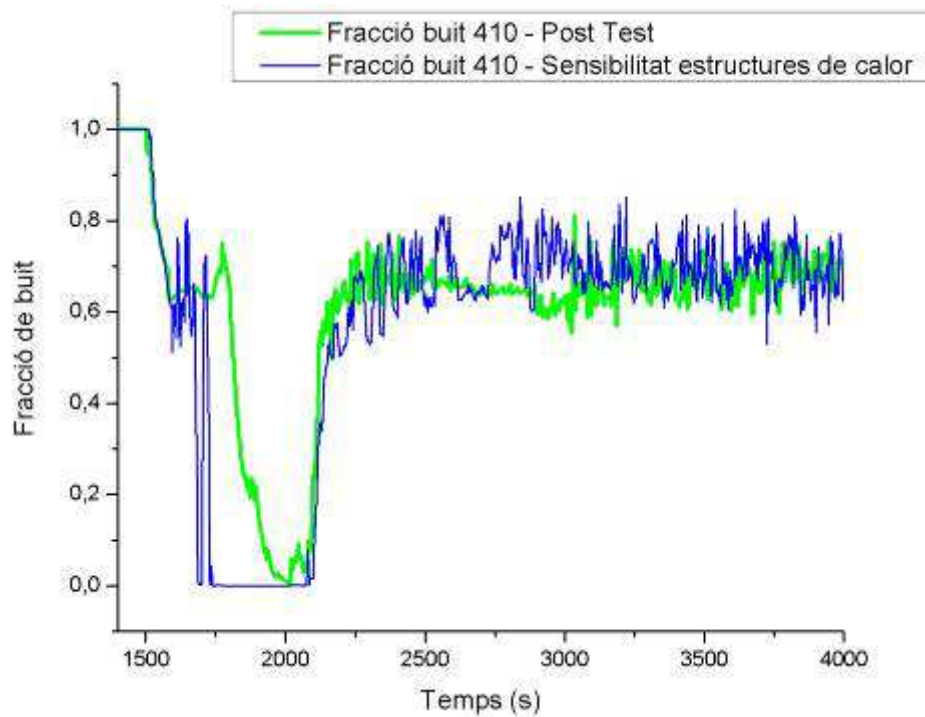


Figura 50: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Fracció de buit del volum 410



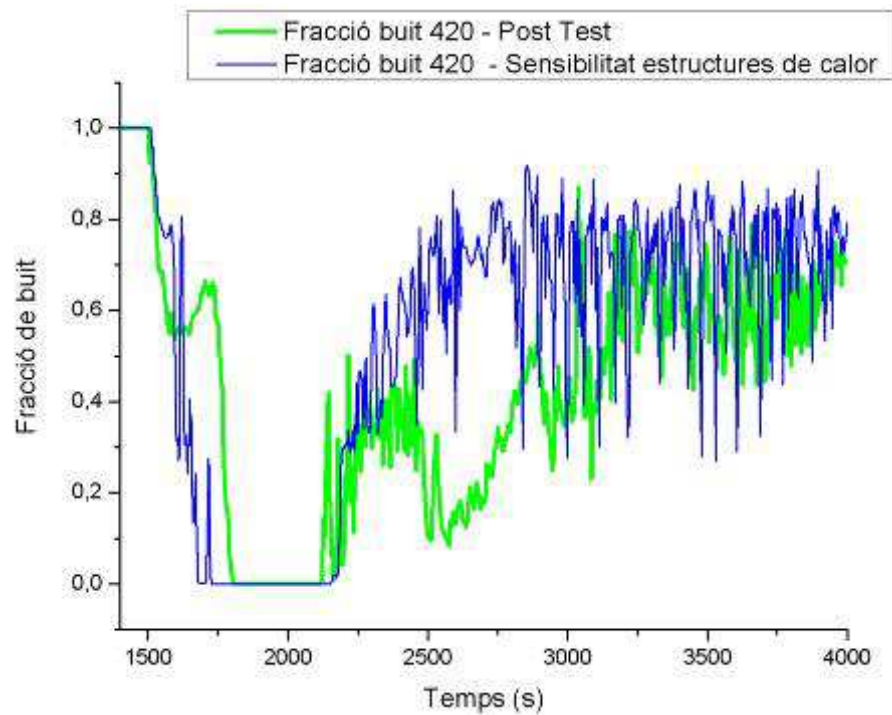


Figura 51: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Fracció de buit del volum 420

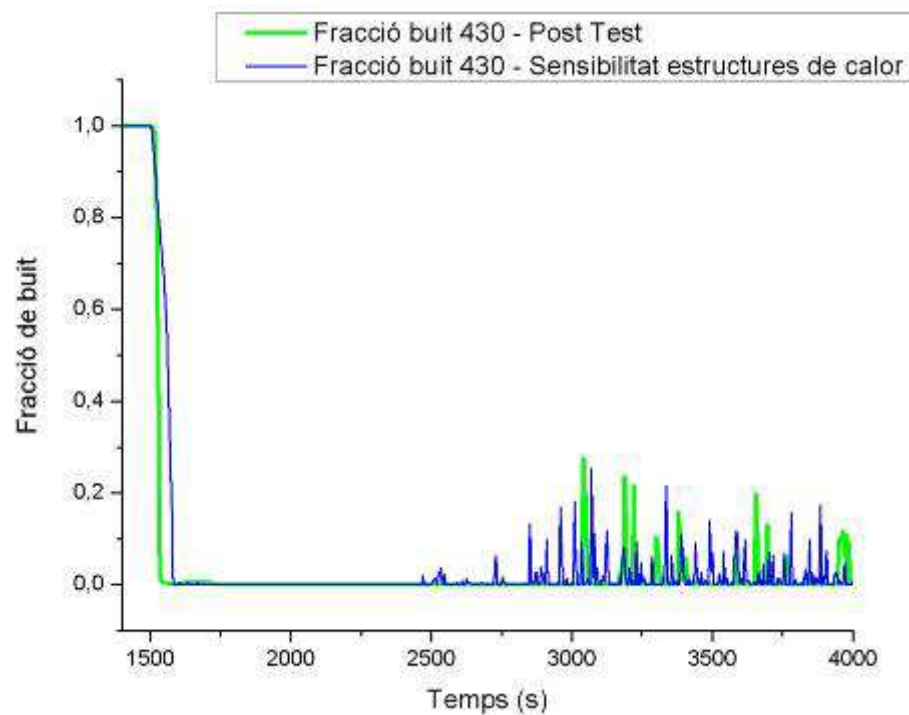


Figura 52: BL30 (escalació pura – Estructures calor): Fracció de buit del volum 430





8 BL44: Resultats i sensibilitats

8.1 Escalació de principi

Com ja s'ha mencionat prèviament, sempre hi ha hagut una problemàtica associada amb el pic de pressió del secundari a l'instant del trencament al simular l'experiment BL44 al model de planta d'Ascó. Originàriament, s'atorgava aquest problema al fet de que no es podia posar la planta a la pressió estable d'estacionari de LOBI en Ascó, 5.12 al llaç intacte i 5.11 al llaç trencat. Aquest problema s'ha resolt, amb el control de pressió implementat prèviament, i els resultats no són tan bons com s'esperaven, ja que la pressió del secundari continua pujant més del compte, comparant els resultats amb el post-test.

Aquest pic de pressió, al ser més alt, provoca que el primari s'acobli al secundari a una pressió més elevada, variant la despressurització del mateix. Aquest fet implica que el primari perdi massa més ràpid durant els primers instants del transitori (fins l'instant 1750; és a dir, els primers 250 segons després del trencament) període en que la pressió del sistema és més alta que al post-test. Per aquest motiu els descobriments del nucli, amb els conseqüents pics de temperatura de beina, és reproduïen abans.

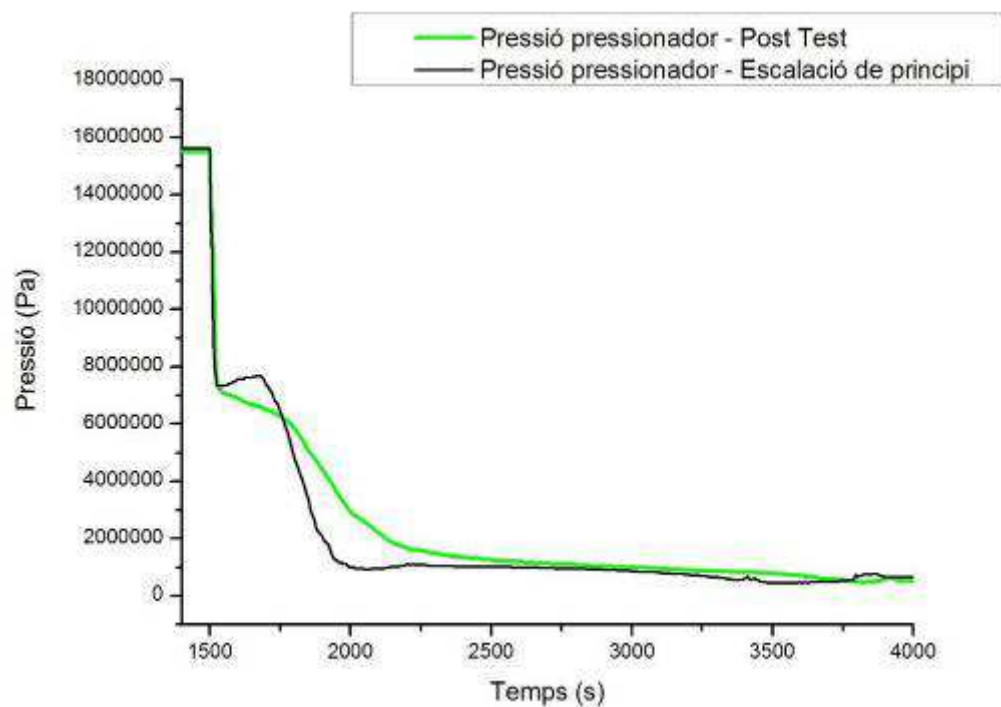


Figura 53: BL44 (escalació pura): Pressió del primari



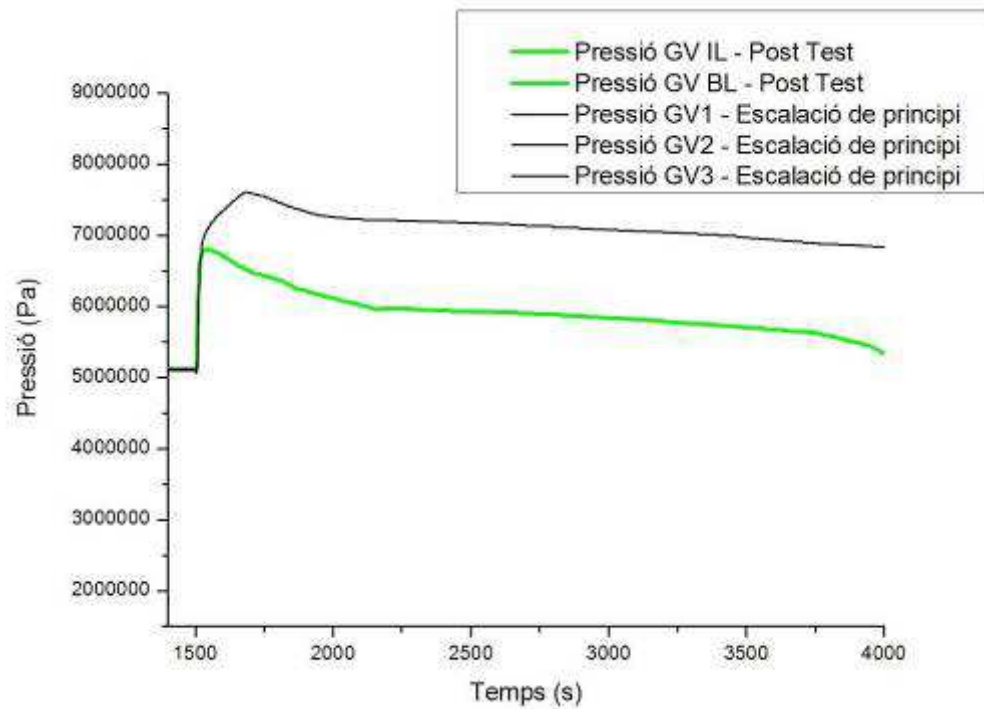


Figura 54: BL44 (escalació pura): Pressió del secundari

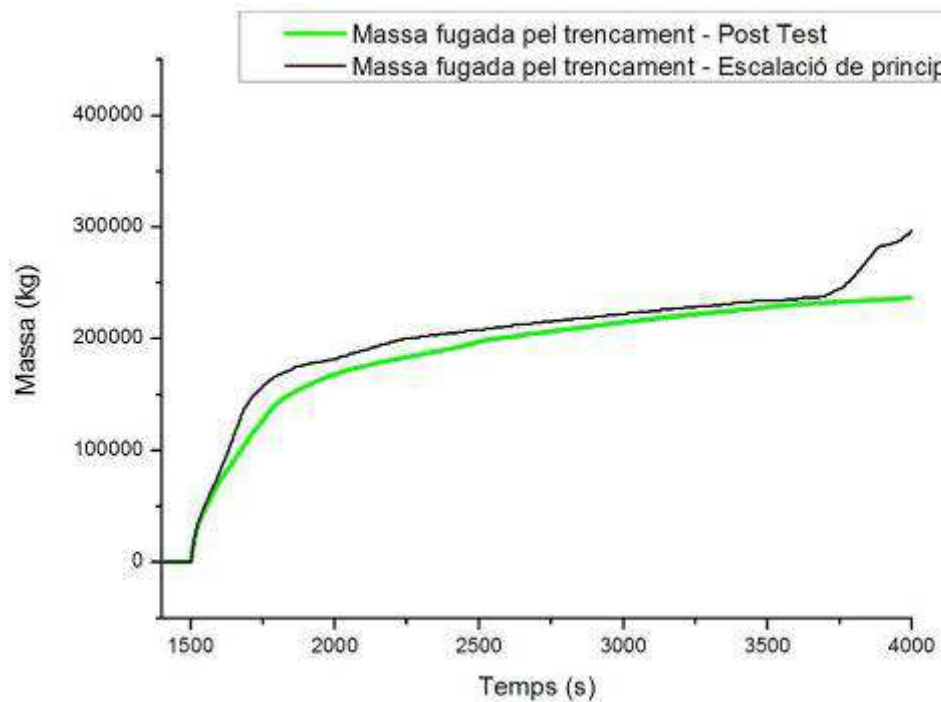


Figura 55: BL44 (escalació pura): Massa fugada pel trencament

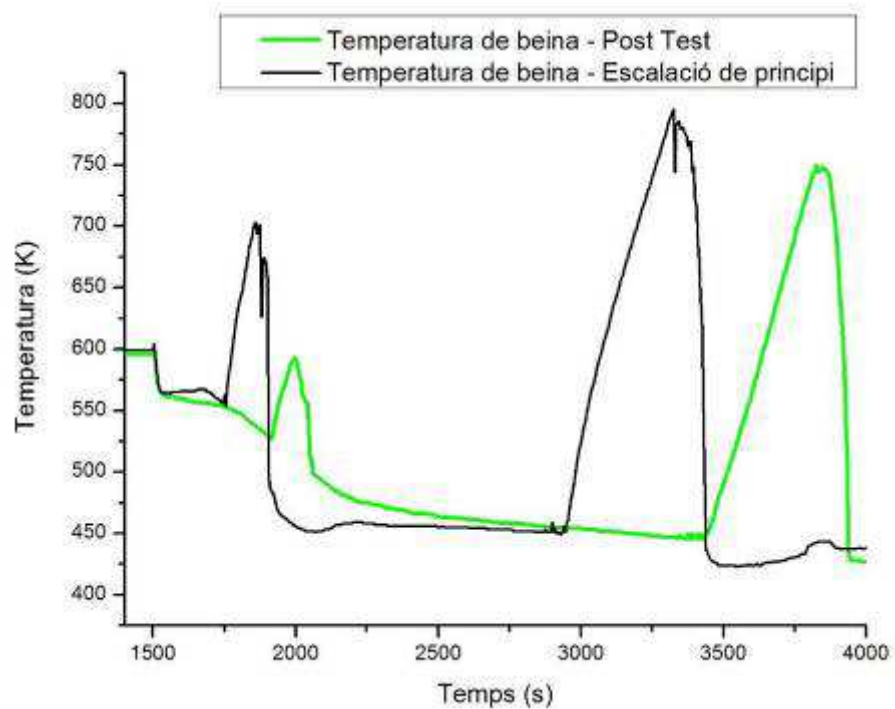


Figura 56: BL44 (escalació pura): Temperatura de beina

El cabal de LPI, depenent de la temperatura de beina, mostra el mateix comportament. S'activa abans ja que el segons pic de temperatura es produeix abans, i a partir d'aquí es comporta com en el post-test.

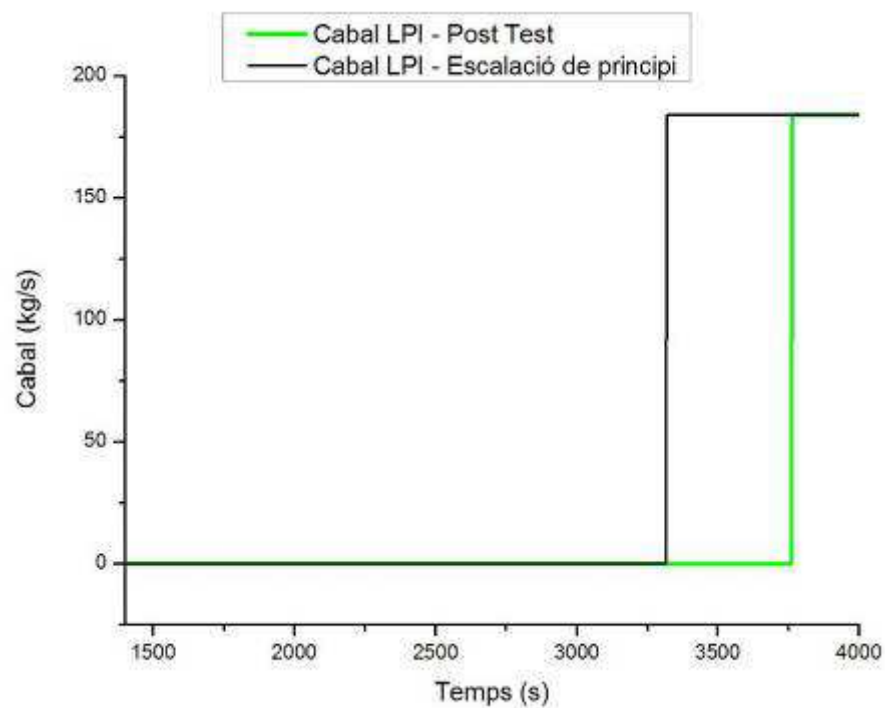


Figura 57: BL44 (escalació pura): Cabal LPI



Els acumuladors s'activen quan la pressió del primari descendeix de 3.91 MPa. En aquesta etapa del transitori, la despressurització del primari és més ràpida que en el post-test, motiu pel qual, al tenir una diferència de pressió superior entre els acumuladors i el primari, s'injecta l'aigua dels acumuladors més ràpid

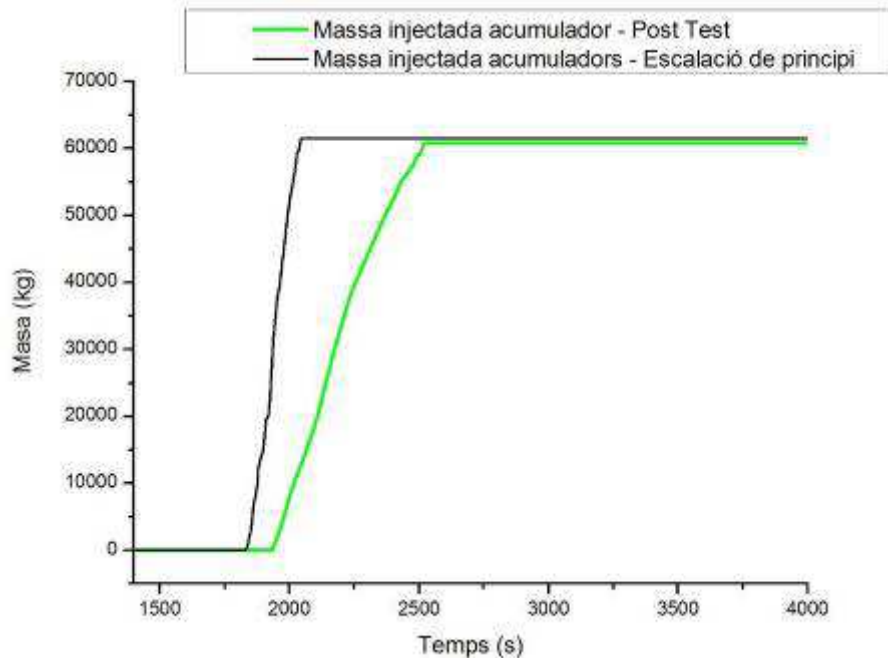


Figura 58: BL44 (escalació pura): Massa injectada pels acumuladors

El comportament de la massa del primari ve governat pels paràmetres anteriors: a Ascó, al tenir més massa pel trencament, es buida el sistema més ràpid, i és reomple al activar-se els acumuladors i la LPI als instants corresponents.

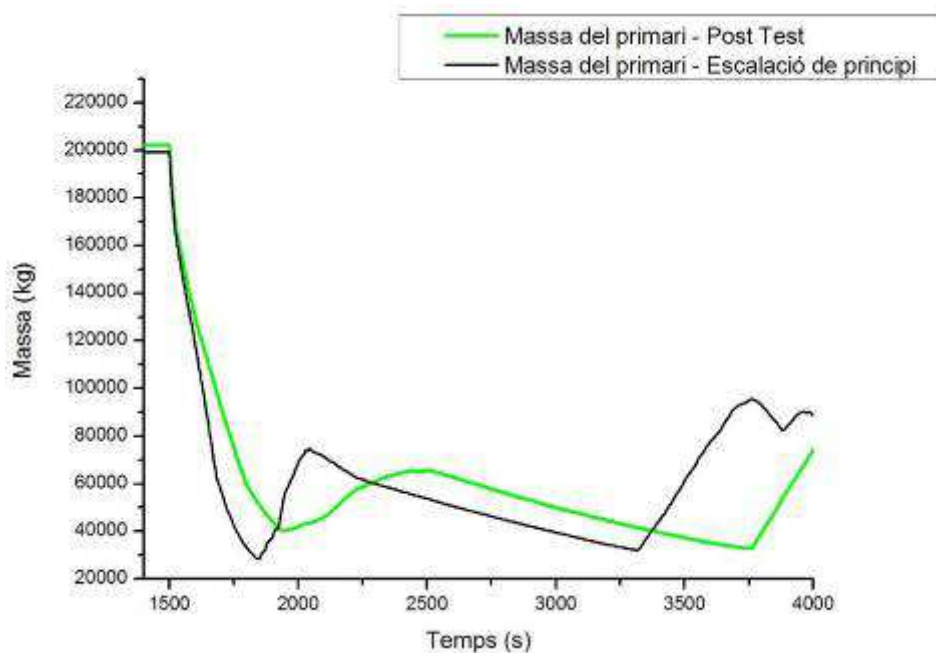


Figura 59: BL44 (escalació pura): Massa del primari

8.2 Anàlisis de distorsions amb l'ajut de models híbrids

8.2.1 Efecte dels generadors de vapor

Tot i haver presentat primer el BL30 en aquest document, el canvi dels generadors de vapor en el BL44 per observar l'impacte d'aquests en el pic de pressió del secundari és l'origen del treball amb models híbrids. De la mateixa manera que és pot pensar que el problema amb el pic de pressió del secundari pot venir del valor estacionari de la pressió del secundari, un fet comentat en l'apartat anterior i vist que no afecta tan com s'esperava, és raonable pensar que el comportament de la pressió del secundari vingui governat per la geometria dels generadors de vapor.

Substituint els generadors de vapor d'Ascó pels de LOBI s'observa com el pic de pressió del secundari baixa respecte l'escalat de principi, tot i no baixar prou per arribar al nivell del post-test de l'experiment. Tot i així, la despressurització posterior canvia, sent més brusca que en els casos anteriors.

Aquesta disminució en el pic de pressió del secundari fa que el primari s'acobli al secundari a una pressió inferior (tot i continuar essent superior al post-test), però no ocasiona cap variació rellevant en la resta de paràmetres.

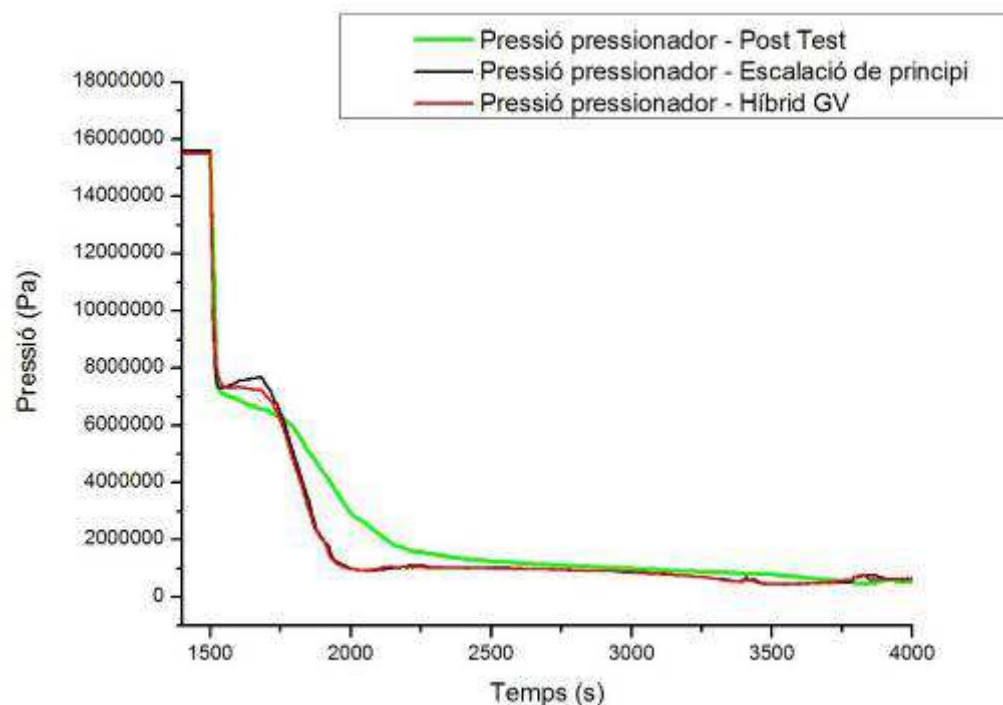


Figura 60: BL44 (Híbrid GV): Pressió del primari



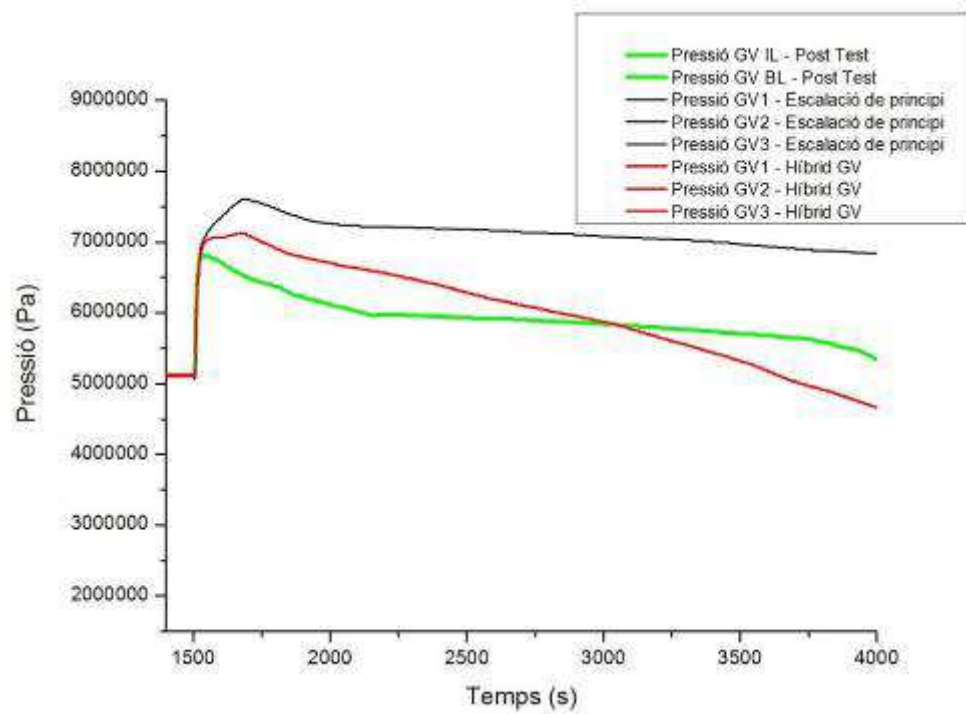


Figura 61: BL44 (Híbrid GV): Pressió del secundari

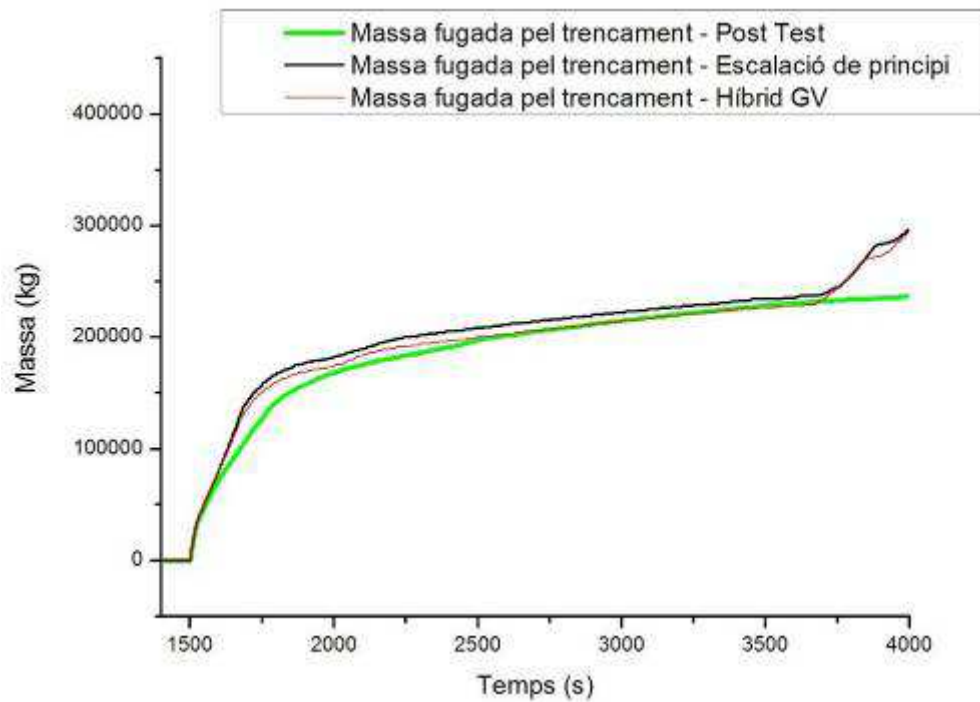


Figura 62: BL44 (Híbrid GV): Massa fugada pel trencament



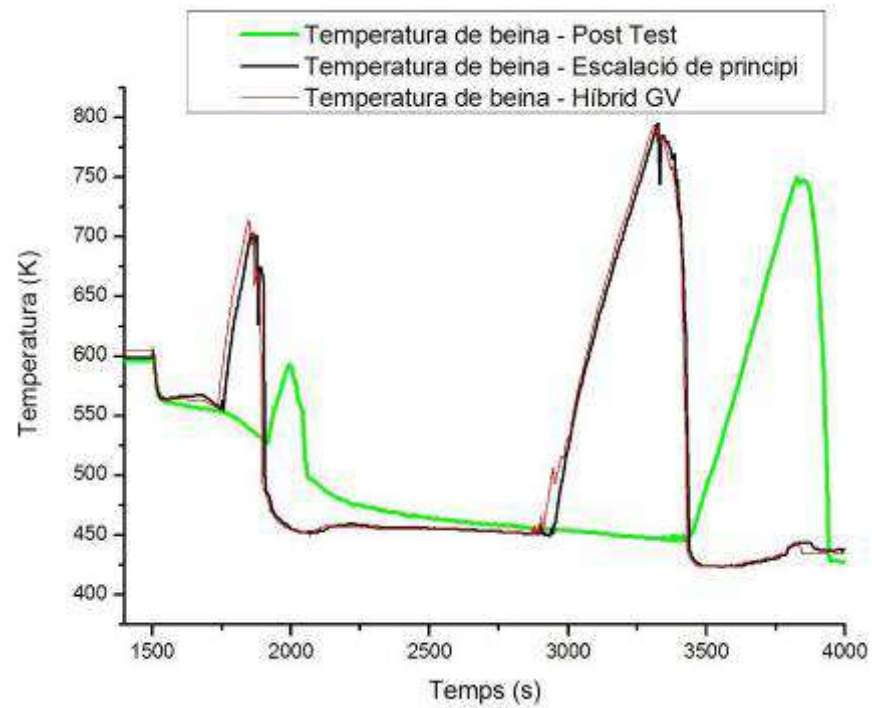


Figura 63: BL44 (Híbrid GV): Temperatura de beina

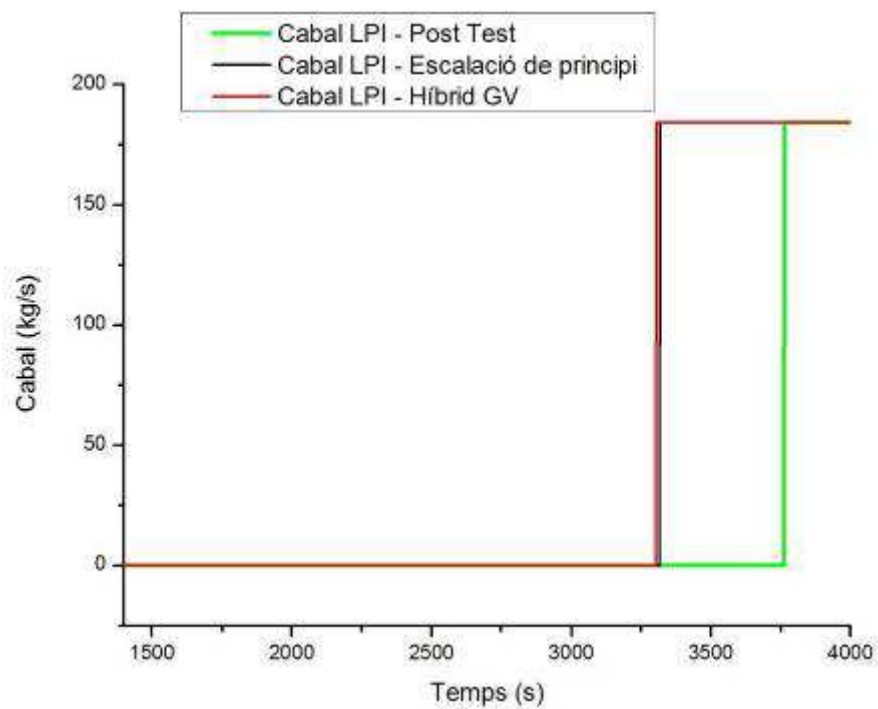


Figura 64: BL44 (Híbrid GV): Cabal LPI

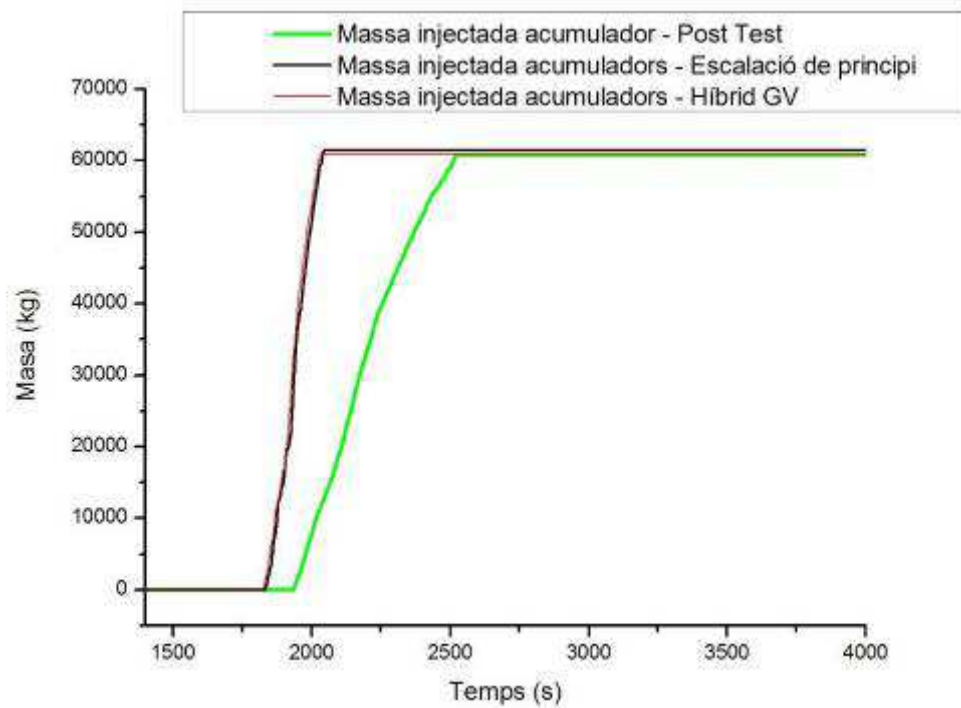


Figura 65: BL44 (Híbrid GV): Massa injectada pels acumuladors

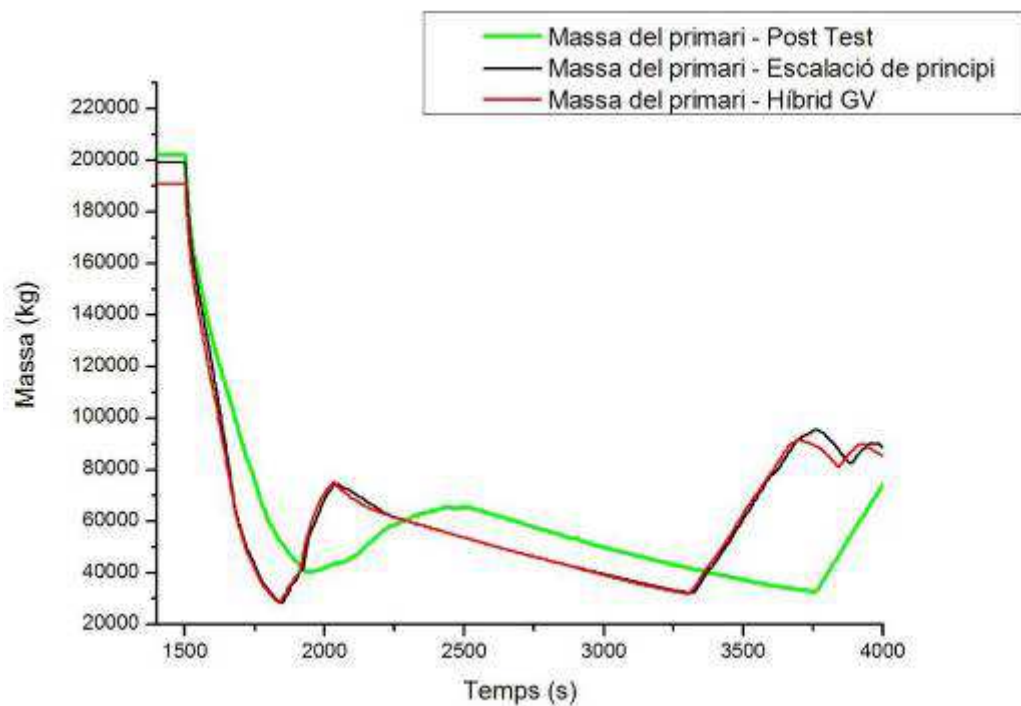


Figura 66: BL44 (Híbrid GV): Massa del primari



8.2.2 Efecte de les branques del primari

Com en el BL30, el fet de canviar les branques d'Ascó per les de LOBI no origina canvis significatius que puguin justificar les discrepàncies entre les dues simulacions de planta. En tots dos casos, la despressurització de primari i secundari segueixen la mateixa evolució; no es corregeix el pic de pressió del secundari.

Pel que fa a la resta de paràmetres, l'únic detall remarcable és que, degut a una lleugera disminució en la massa fugada, el primari tarda més en perdre aigua, lo que ocasiona que el segon pic de temperatura ocorri més tard que en la escalació de principi, més a prop del càlcul realitzat a LOBI. Això implica que l'entrada de la LPI també succeeix més tard.

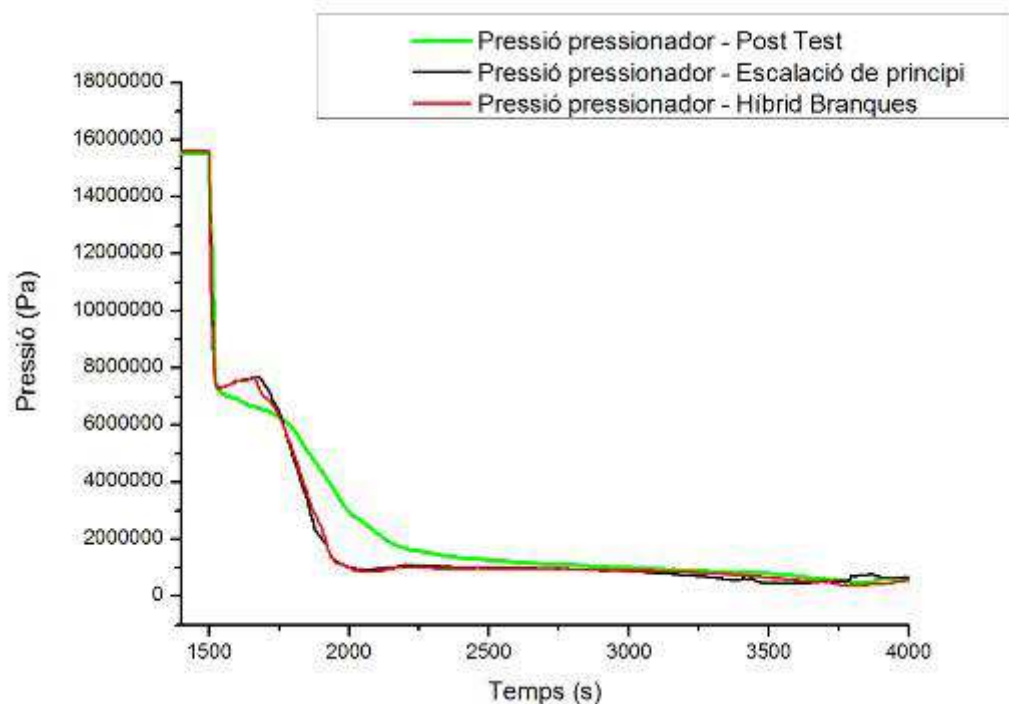


Figura 67: BL44 (Híbrid branques): Pressió del primari



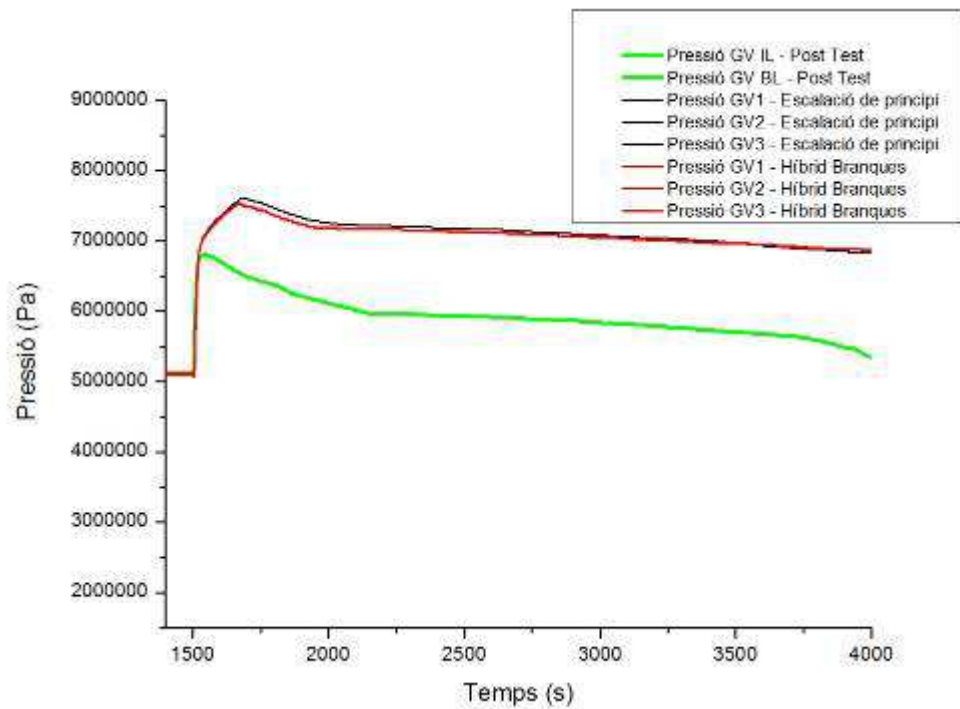


Figura 68: BL44 (Híbrid branques): Pressió del secundari

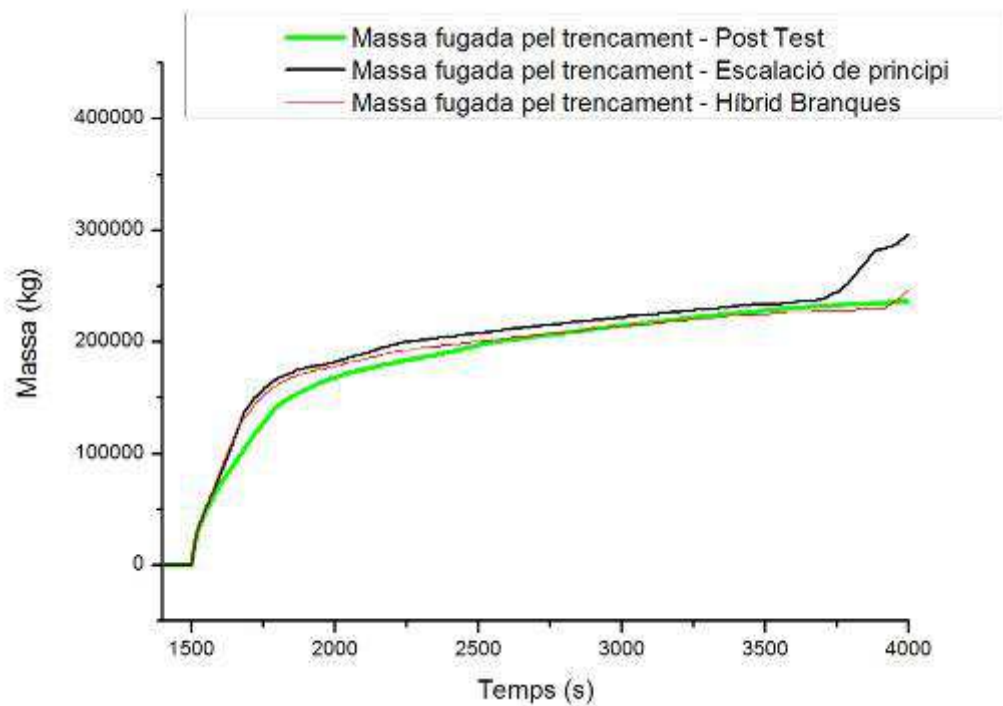


Figura 69: BL44 (Híbrid branques): Massa fugada pel trencament



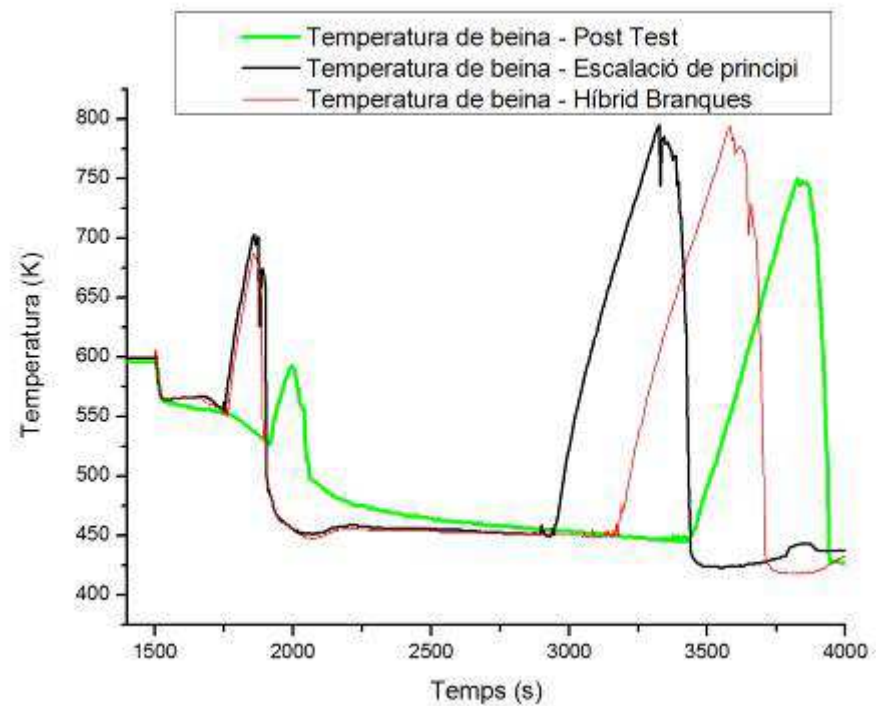


Figura 70: BL44 (Híbrid branques): Temperatura de beina

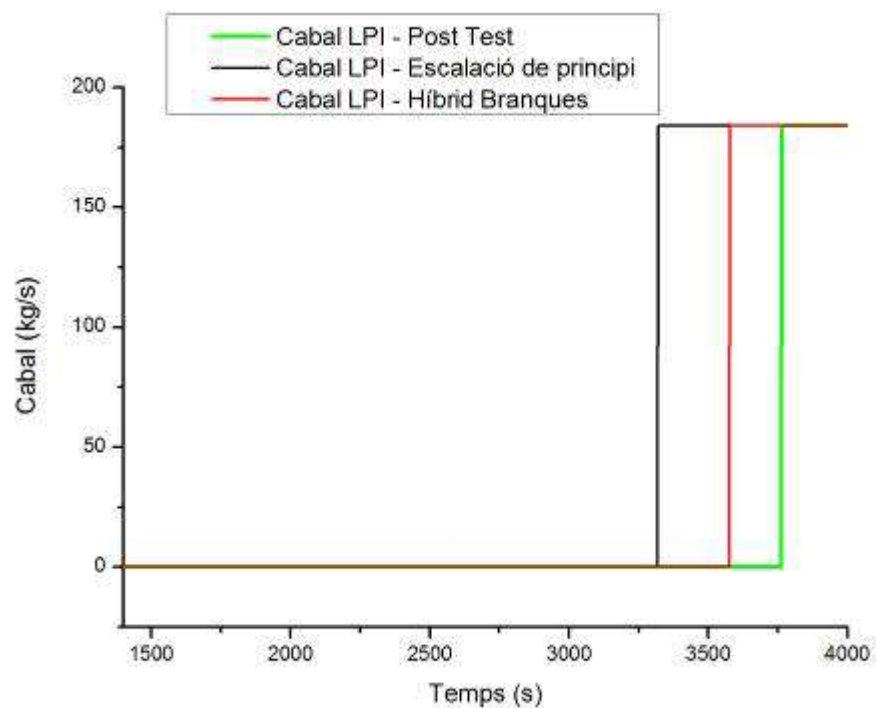


Figura 71: BL44 (Híbrid branques): Cabal LPI



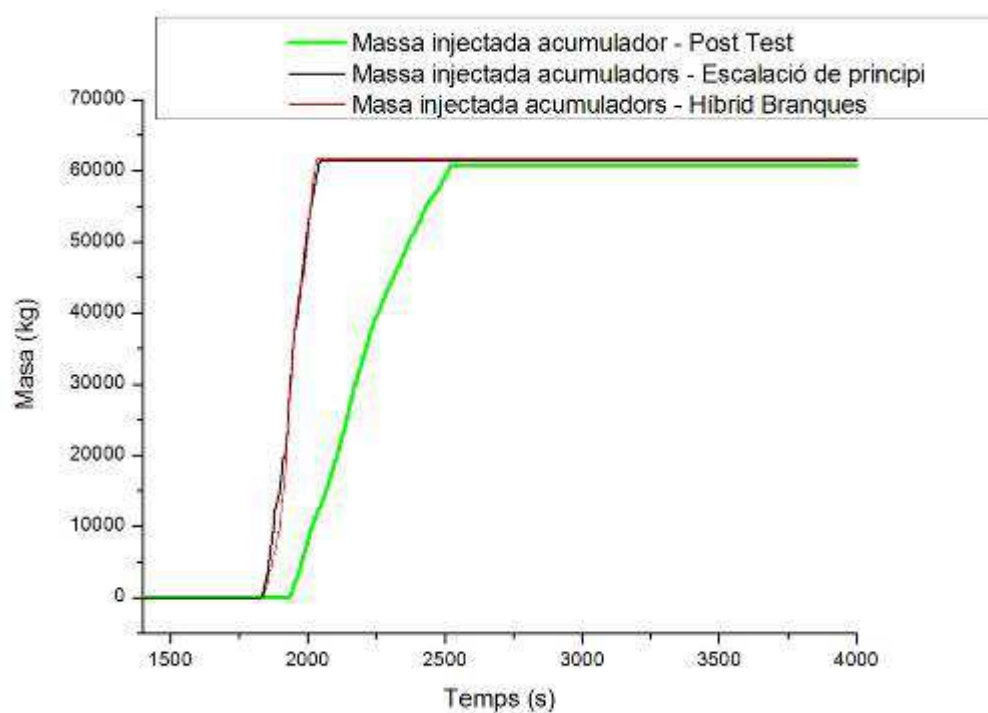


Figura 72: BL44 (Híbrid branques): Massa injectada pels acumuladors

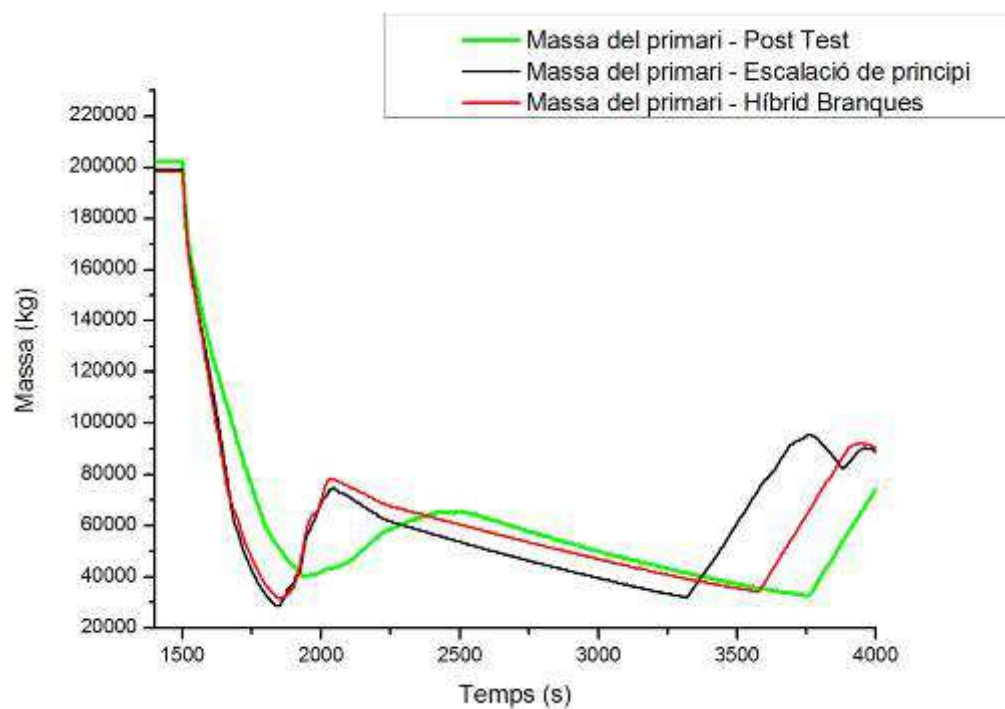


Figura 73: BL44 (Híbrid branques): Massa del primari



8.2.3 Efecte de la cuva

Com s'ha vist en el cas del BL30, canviant la cuva d'Ascó pel model escalat de la cuva de LOBI es quan s'obtenen unes despressuritzacions del sistema més similars a les obtingudes al post-test de l'experiment.

En aquest cas, el pic de pressió del secundari presenta un valor de pic similar al obtingut en el post-test; malgrat això, el pic continua sent posterior a l'instant que ocorre a LOBI. Això fa que la pressió del primari s'acosti més al resultat del post-test en la zona en que es produeix l'acoblament de pressions entre el primari i el secundari. A partir d'aquí, la despressurització segueix la mateixa tendència que en l'escalació de principi, el sistema perd pressió més ràpidament.

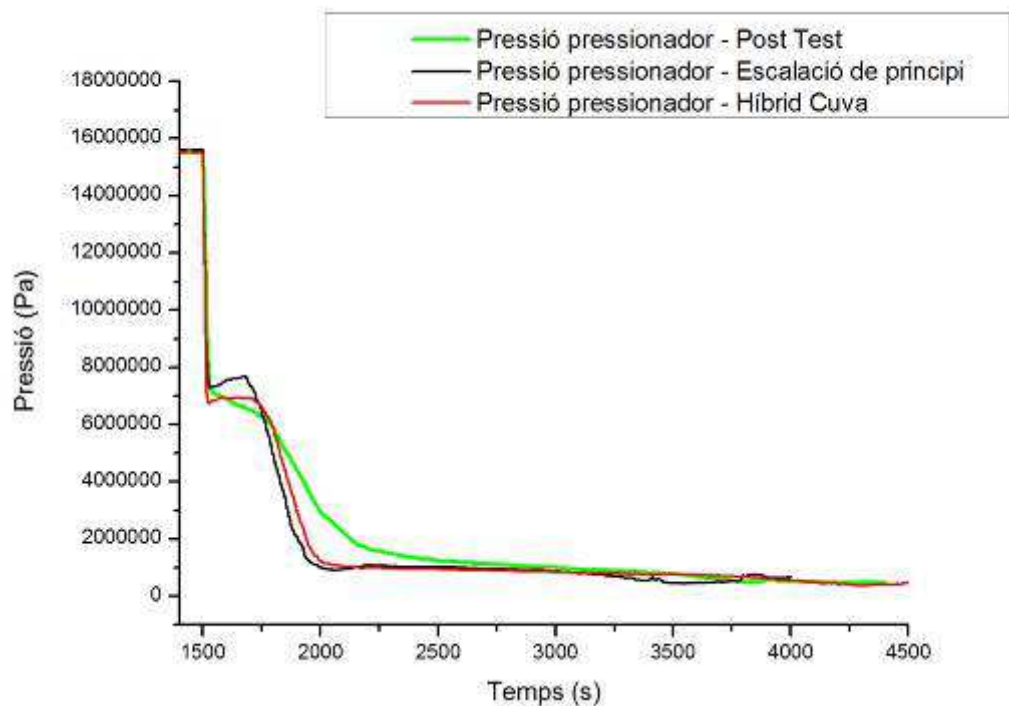


Figura 74: BL44 (Híbrid Cuva): Pressió del primari



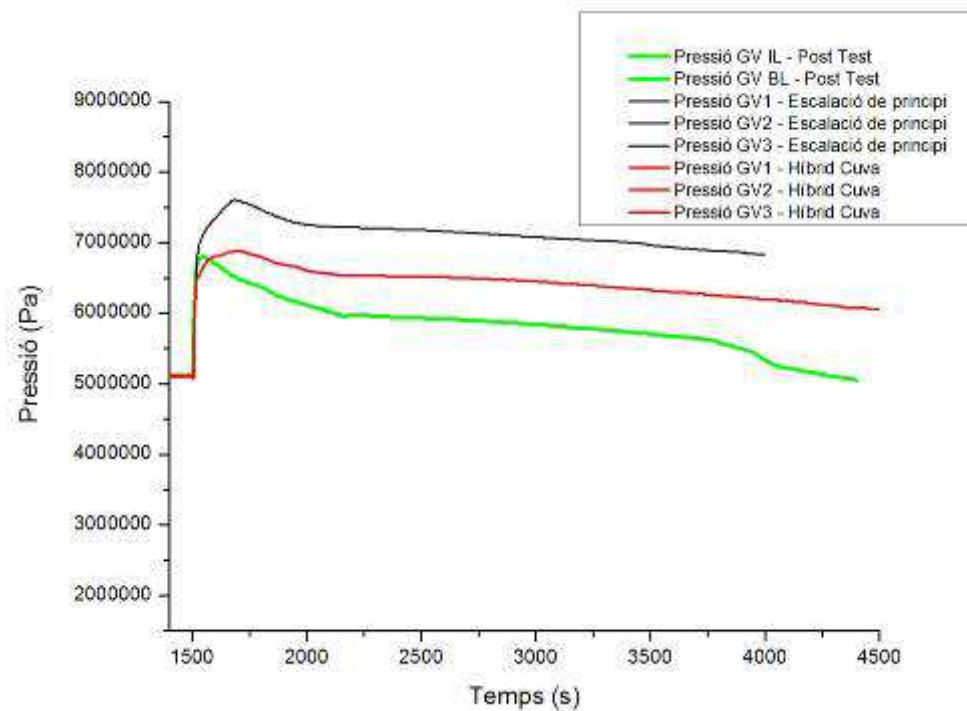


Figura 75: BL44 (Híbrid Cuva): Pressió del secundari

Durant la zona d'acoblament de pressions entre el primari i el secundari, la pressió del sistema és més baixa que en l'escalació de principi. Per aquest motiu, la massa fugada per la ruptura és menor, obtenint uns valors més semblants als resultats del post-test.

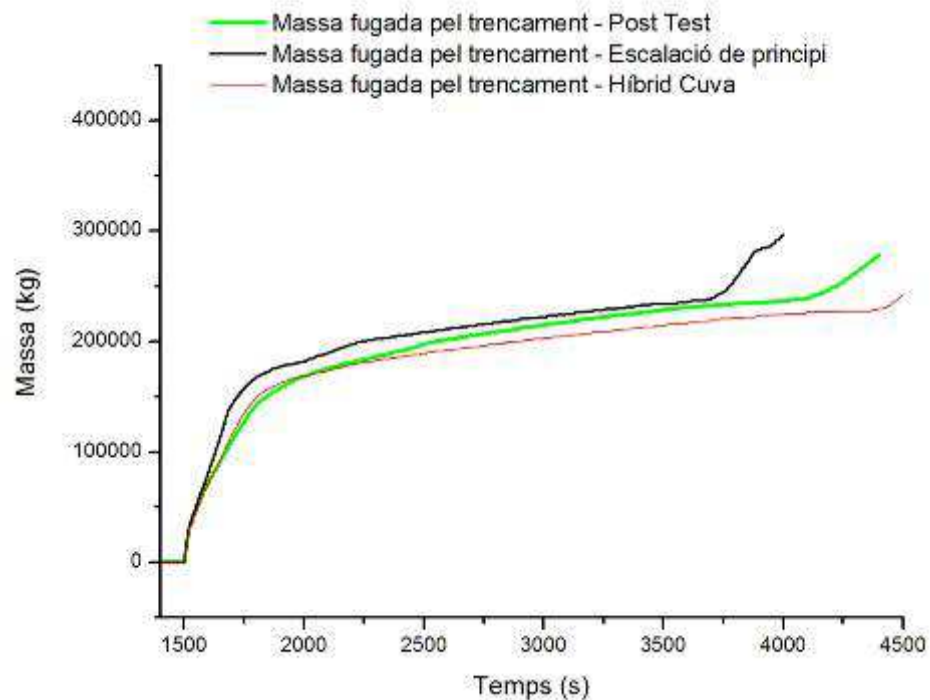


Figura 76: BL44 (Híbrid Cuva): Massa fugada pel trencament



Al canviar la cuva per la de LOBI, les estructures de calor també s'han canviat, de manera que el nucli és el de LOBI. En aquesta sensibilitat, la temperatura de beina (agafant sempre la zona més crítica, que assoleixi la major temperatura) mostra els dos pics de temperatura, corresponents als dos buidats del sistema, amb una major concordança amb els resultats del post-test. Tot i continuar desplaçats, el primer pic és més pròxim al post-test, gràcies a que la massa fugada pel trencament s'ha corregit. Això també ha fet que el segon pic s'endarrerís més.

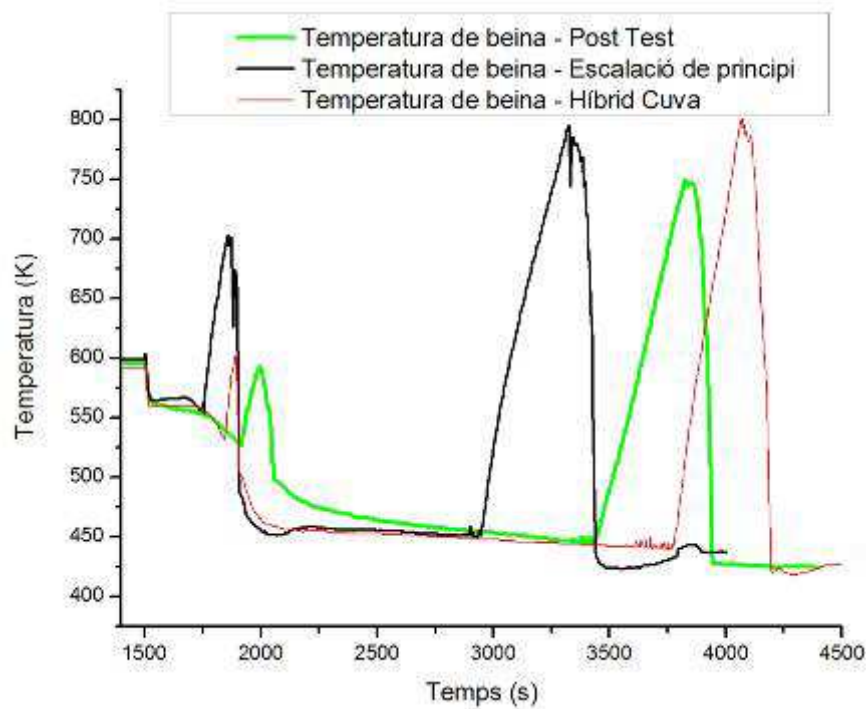


Figura 77: BL44 (Híbrid Cuva): Temperatura de beina

Per tenir un major enteniment de la gràfica anterior, en la següent es mostra l'evolució de la massa del primari. S'observa com en els primers instants després del trencament la massa es perd més lentament. L'arrancada dels acumuladors, tot i produir-se aproximadament en el mateix instant de temps, en aquest model ocorre en un estat del primari més ple. Al injectar-se la mateixa quantitat d'aigua en ambdós casos, a partir d'aquí, com que la despressurització és igual que a l'escalació de principi, s'observa la mateixa evolució, però partint d'un nivell més alt i, per tant, tarda més en produir-se el segon descobriment del sistema, causant del segon pic de temperatura de la gràfica anterior.



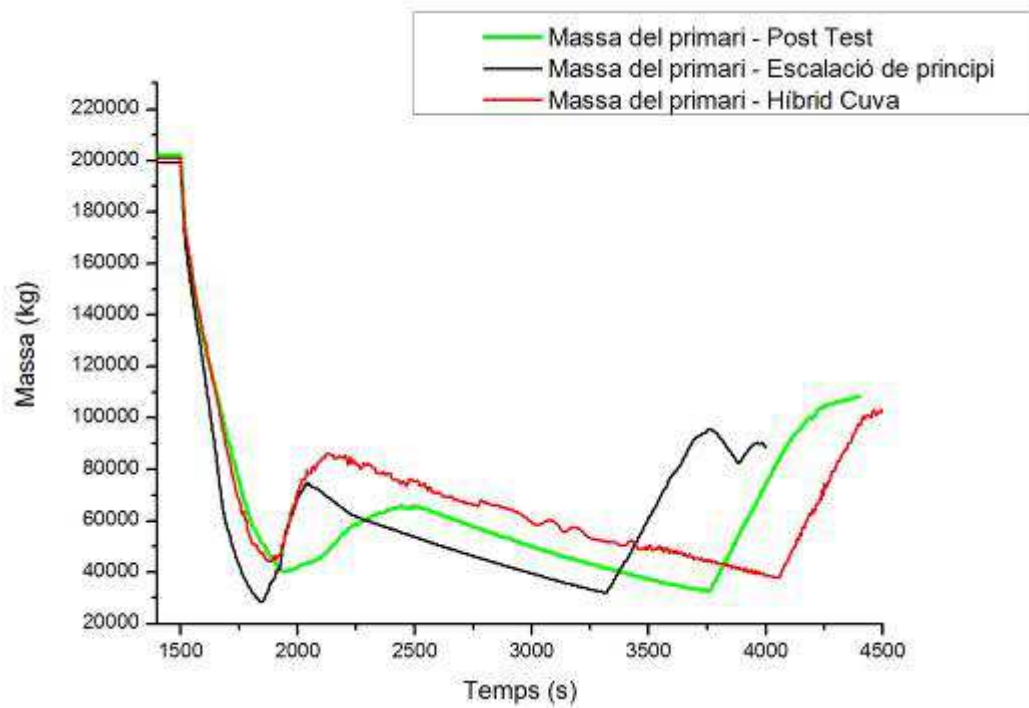


Figura 78: BL44 (Híbrid Cuva): Massa del primari

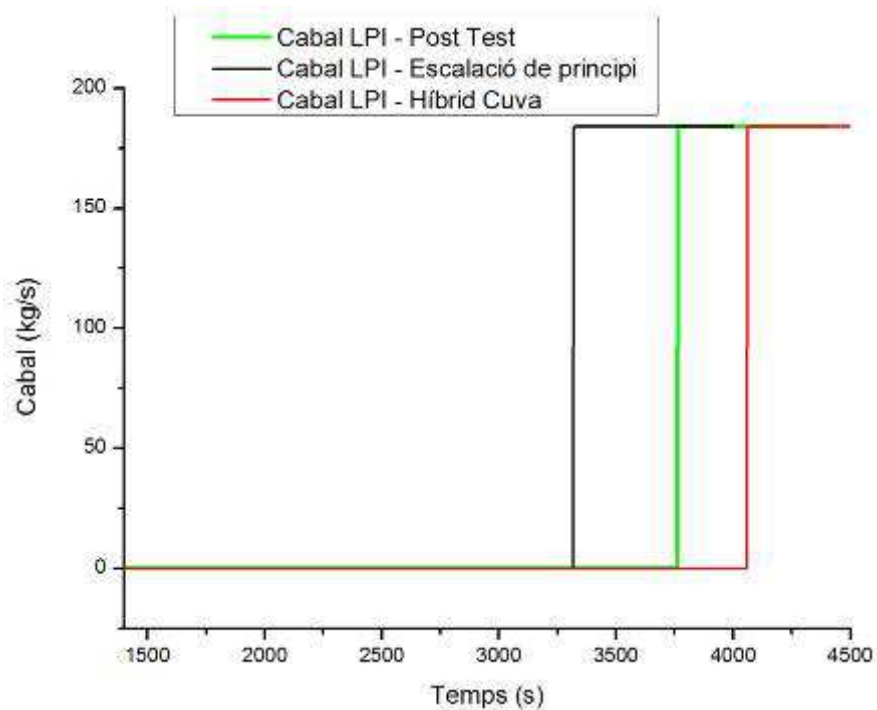


Figura 79: BL44 (Híbrid Cuva): Cabal LPI



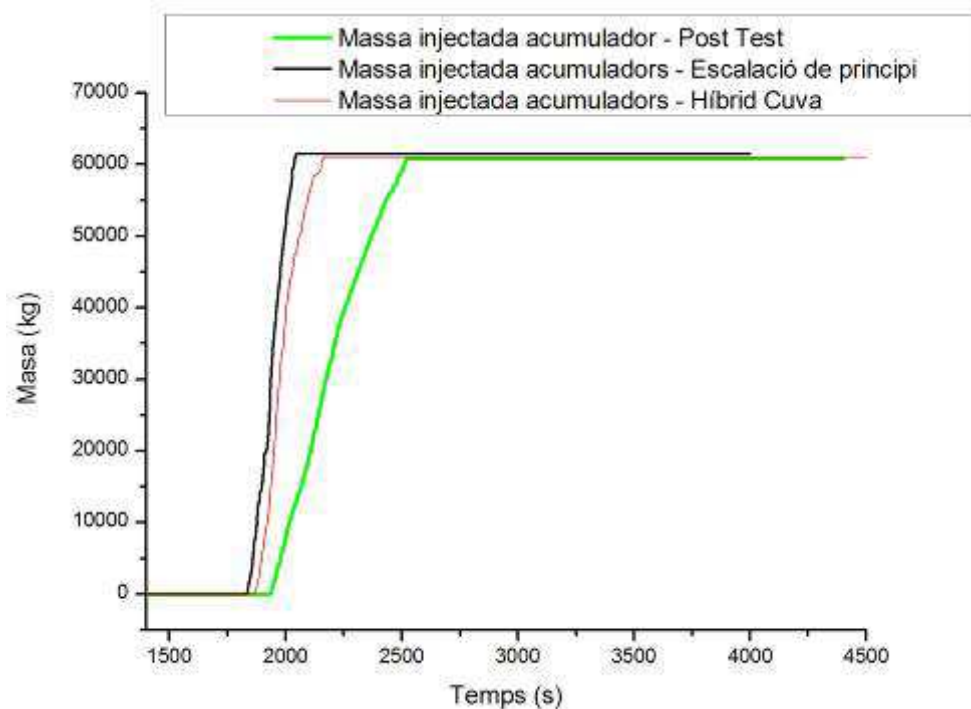


Figura 80: BL44 (Híbrid Cuva): Massa injectada pels acumuladors

8.3 Escalació pura

Després de realitzar els models híbrids amb l'aplicació de planta del BL44, i veure que no s'obtenen resultats tan bons com cabria esperar, és a dir, una millora notable del comportament de la pressió del secundari, es procedeix a realitzar l'escalació pura de l'experiment, com en el cas del BL30.

De la mateixa manera que amb el BL30, els resultats de l'escalació pura són més similars als resultats obtinguts amb el model d'Ascó que no pas amb els resultats del post-test, fet que verifica la importància de l'escala en aquests transitoris.

La despressurització del sistema, tot i acoblar-se primari i secundari a una pressió més baixa, que a l'aplicació a planta, segueix una tendència similar. Aquest fet produeix que, fins a l'instant 1750, la pressió del primari de l'escalació pura és menor que a l'aplicació de planta, implicant unes menors pèrdues pel trencament. Això deriva en un comportament diferent de la massa del primari, lo que es tradueix en que el primer buidat del nucli no té lloc (els acumuladors s'activen per pressió abans de que el nivell baixi) i el segon buidat ocorre retardat segons l'aplicació de planta i el post-test.



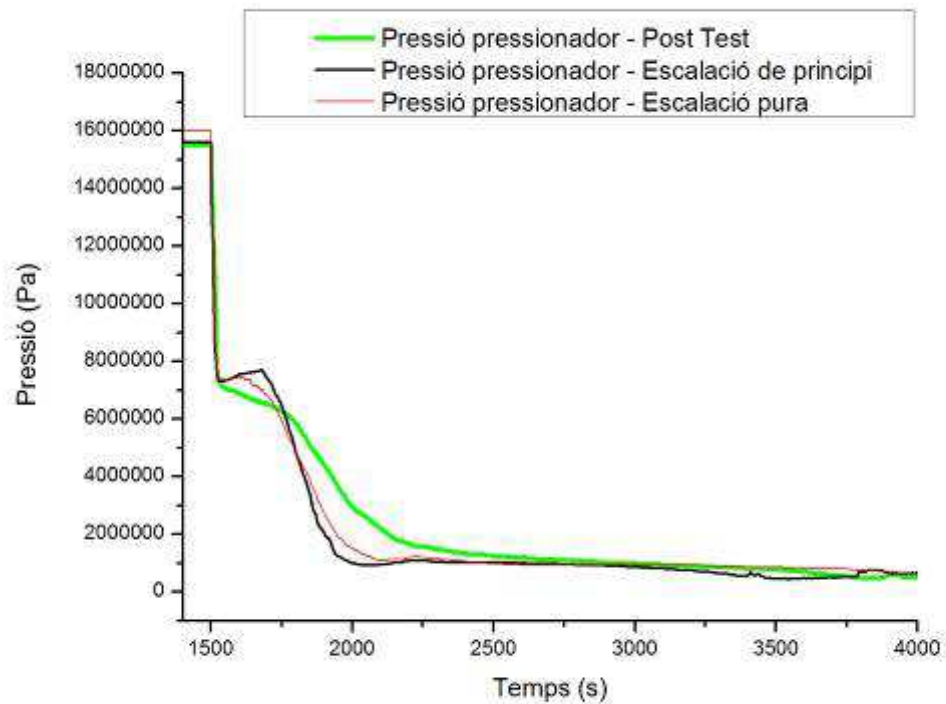


Figura 81: BL44 (escalació pura): Pressió del primari

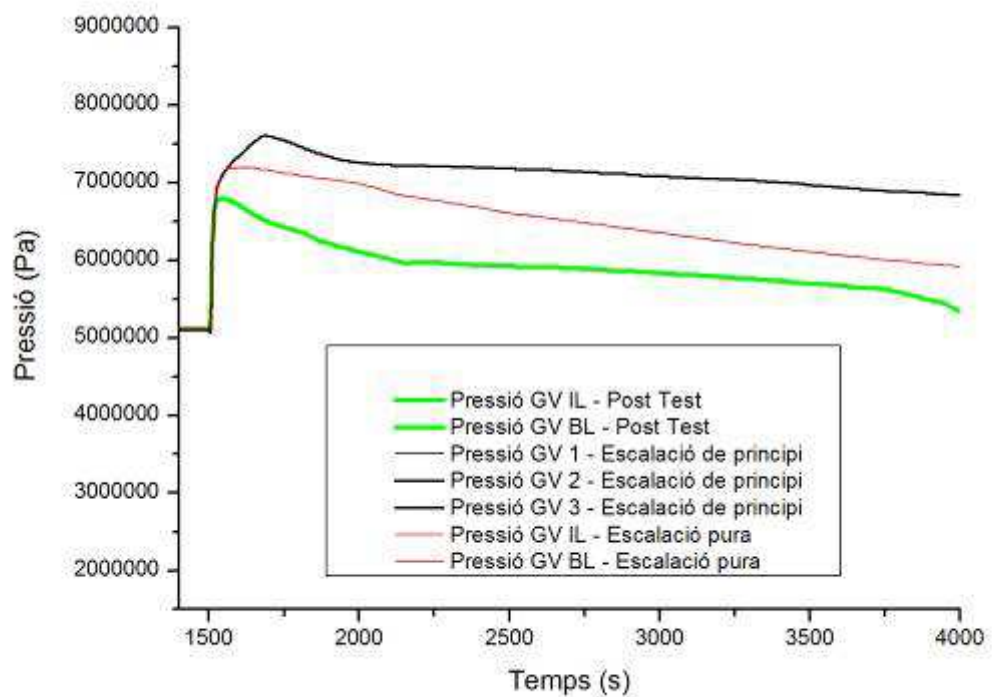


Figura 82: BL44 (escalació pura): Pressió del secundari



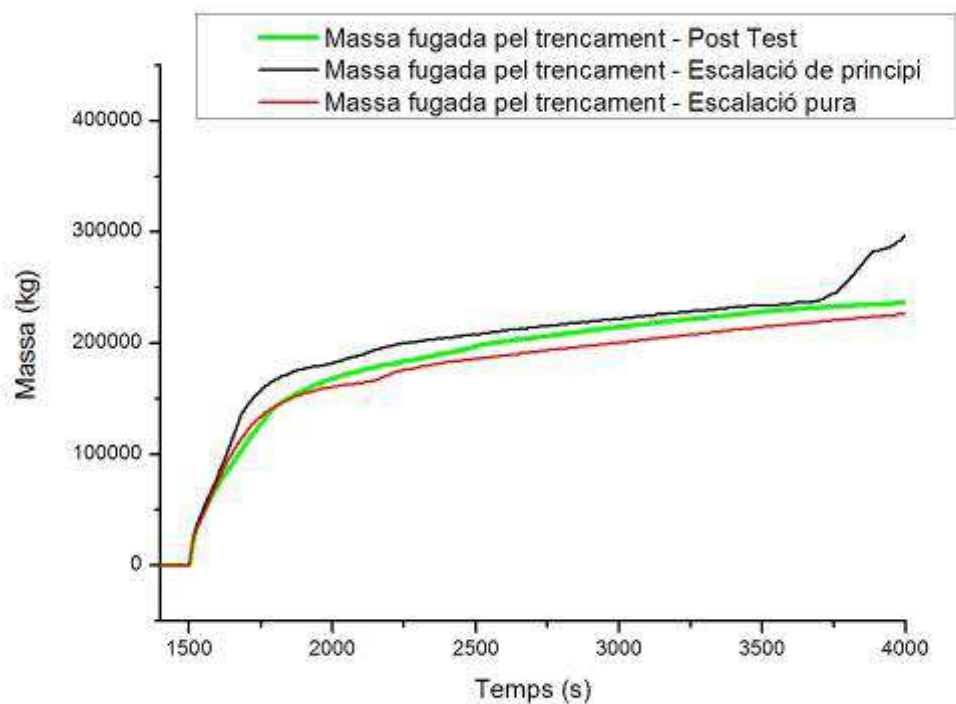


Figura 83: BL44 (escalació pura): Massa fugada pel trencament

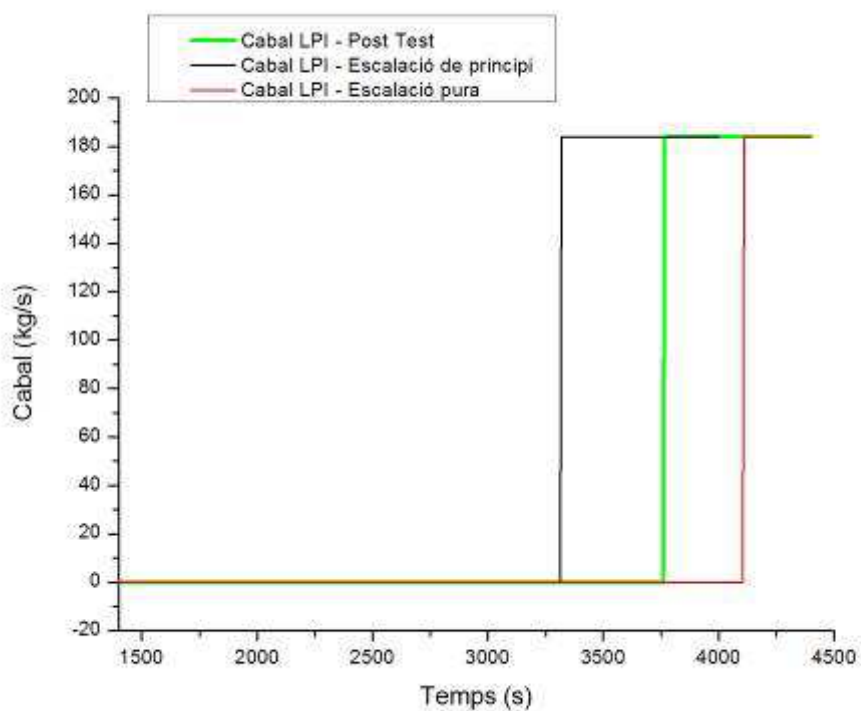


Figura 84: BL44 (escalació pura): Cabal LPI



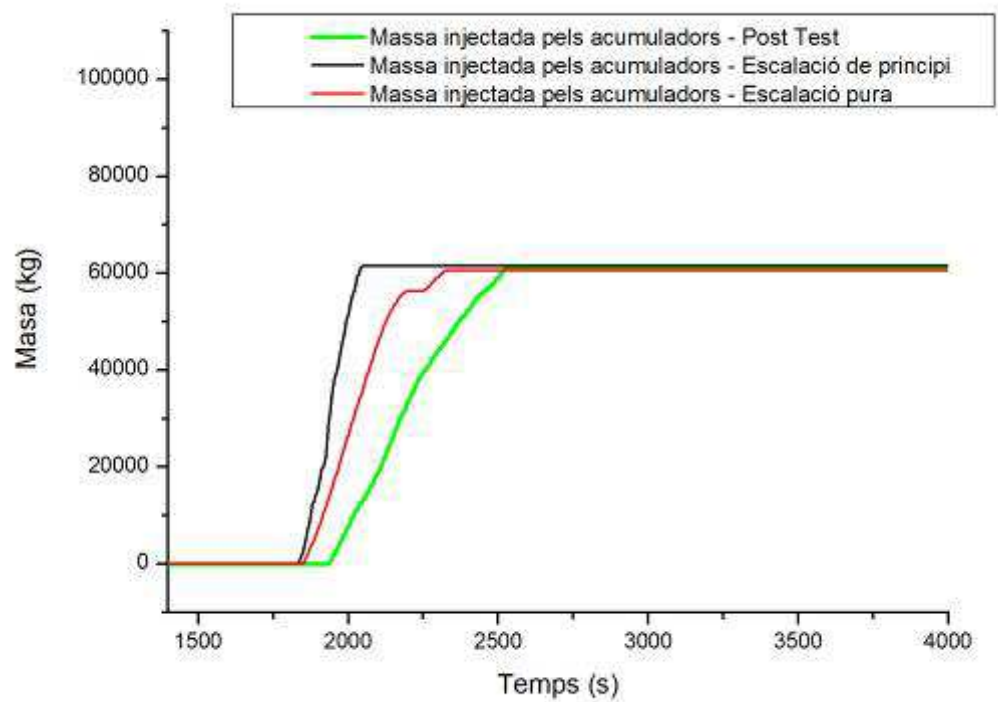


Figura 85: BL44 (escalació pura): Massa injectada pels acumuladors

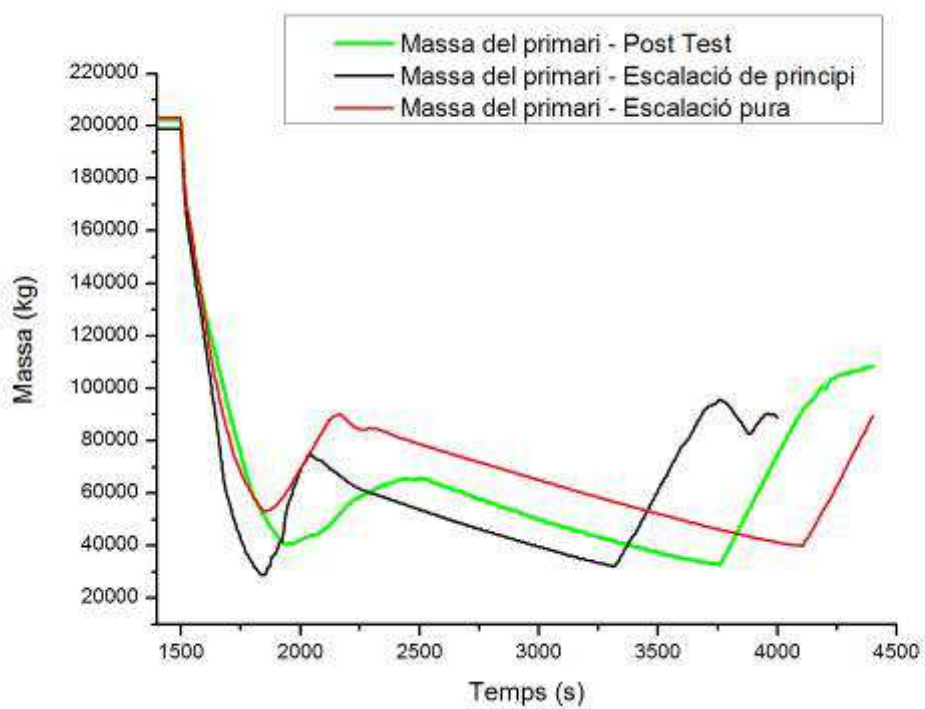


Figura 86: BL44 (escalació pura): Massa del primari



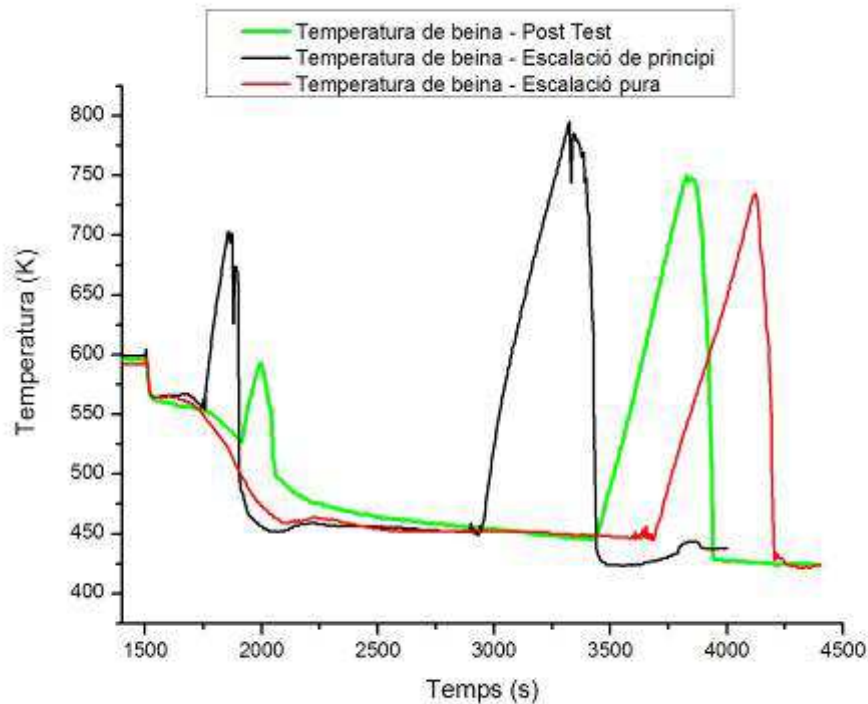


Figura 87: BL44 (escalació pura): Temperatura de beina

8.3.1 Sensibilitat: estructures de calor escalades per àrea

Queda patent que l'escala de la instal·lació, així com les estructures passives de calor, són factors rellevants en els transitoris que, com aquests, ocorren a baixa potència.

Realitzant el mateix transitori anteriorment detallat, l'escalació pura de LOBI, amb les estructures passives de calor escalades per àrea en comptes de per diàmetre hidràulic, trobem que els resultats concorden amb els obtinguts al post-test.

Les pressions del primari i del secundari casen amb els resultats del post-test, oferint els millors resultats obtinguts fins el moment, reproduint-se el pic de pressió del secundari en l'instant del trencament, i la posterior evolució del sistema. De la mateixa manera, les gràfiques de les injeccions de seguretat, massa del trencament i evolució de la massa del primari quadren amb el post-test, i els pics de temperatura de beina corresponents als buidats del nucli es representen fidels amb els originals, produint-se als mateixos instants.

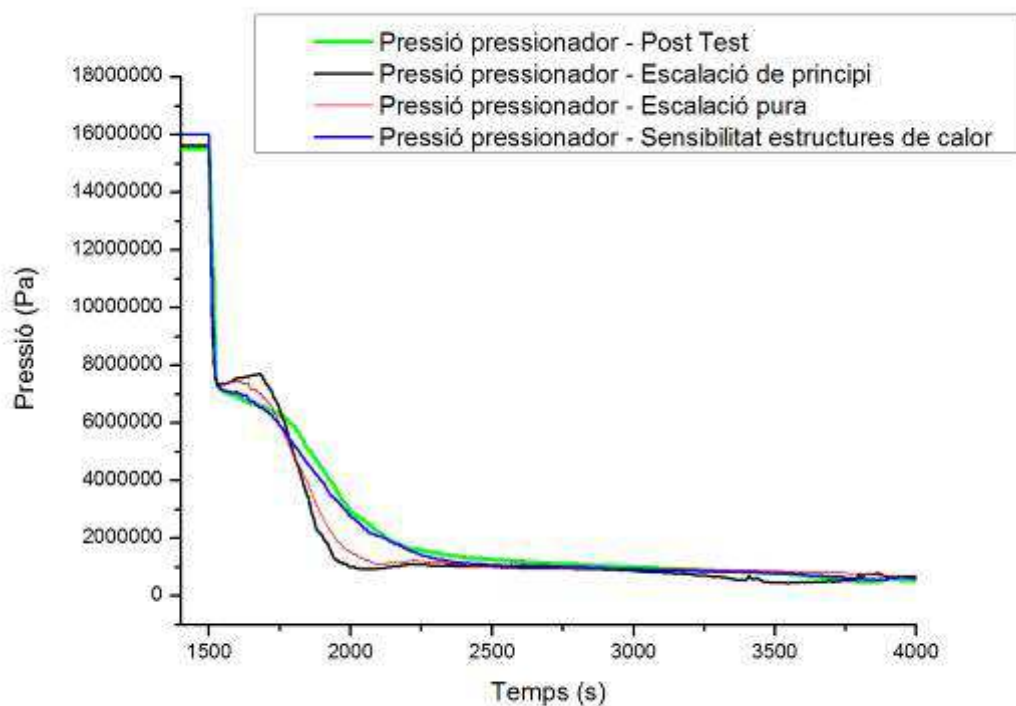


Figura 88: BL44 (escalació pura – Estructures calor): Pressió del primari

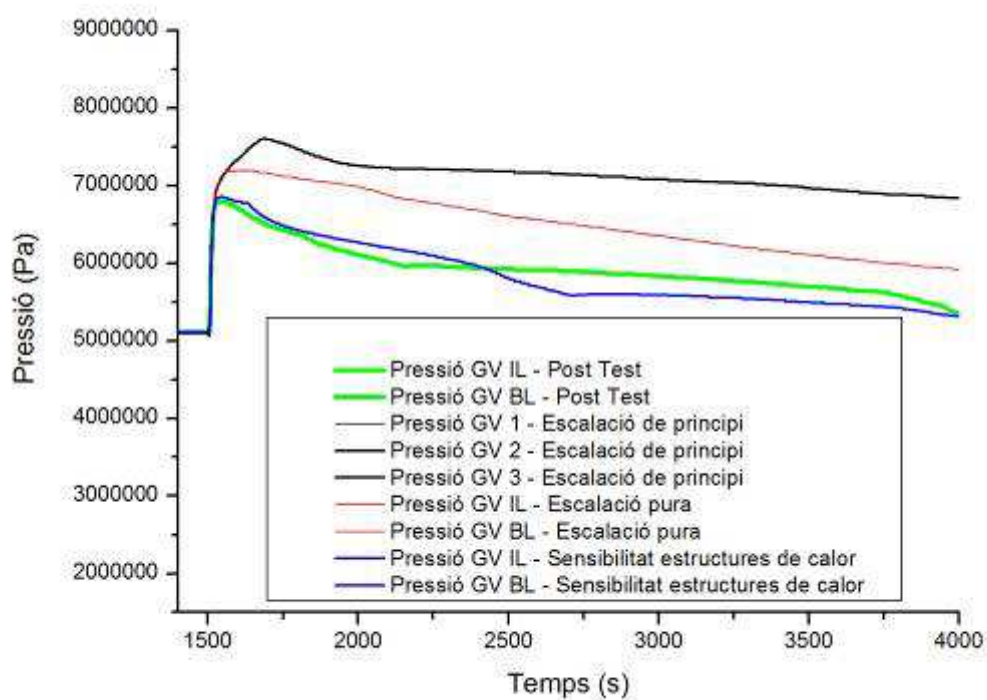


Figura 89: BL44 (escalació pura – Estructures calor): Pressió del secundari



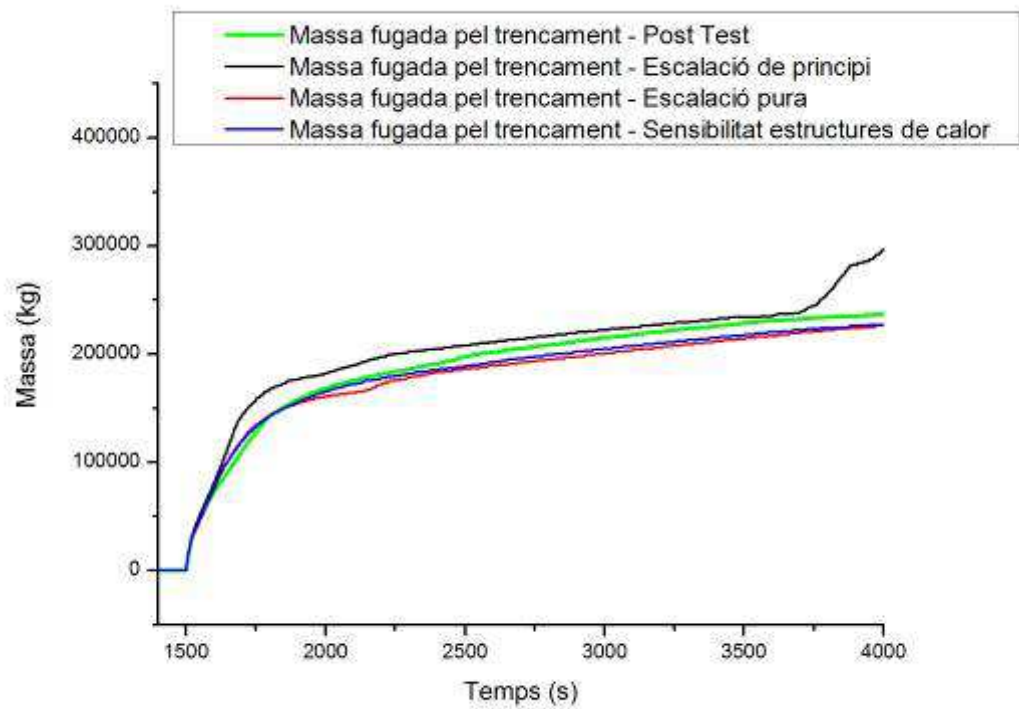


Figura 90: BL44 (escalació pura – Estructures calor): Massa fugada pel trencament

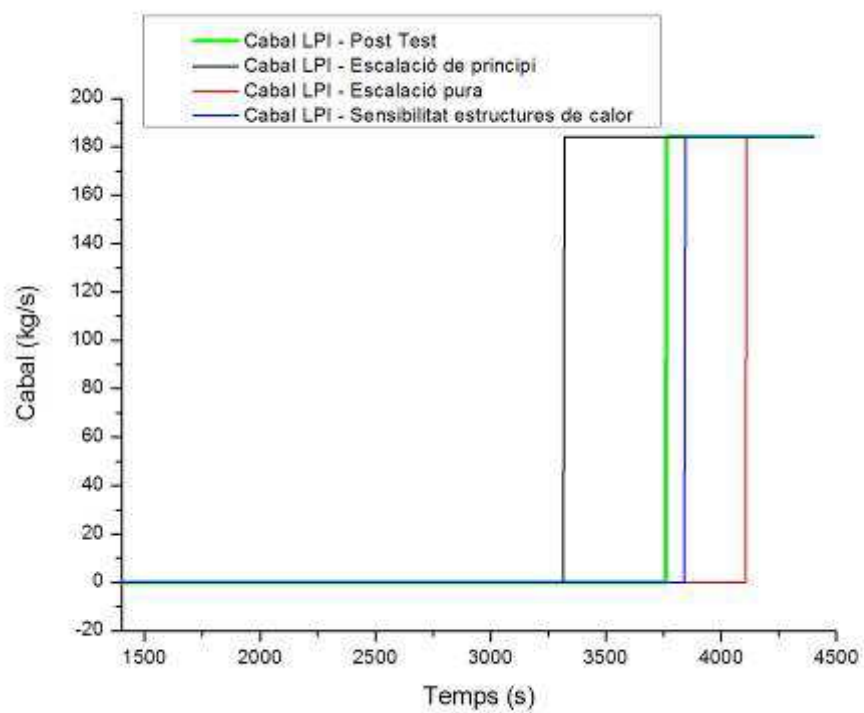


Figura 91: BL44 (escalació pura – Estructures calor): Cabal LPI



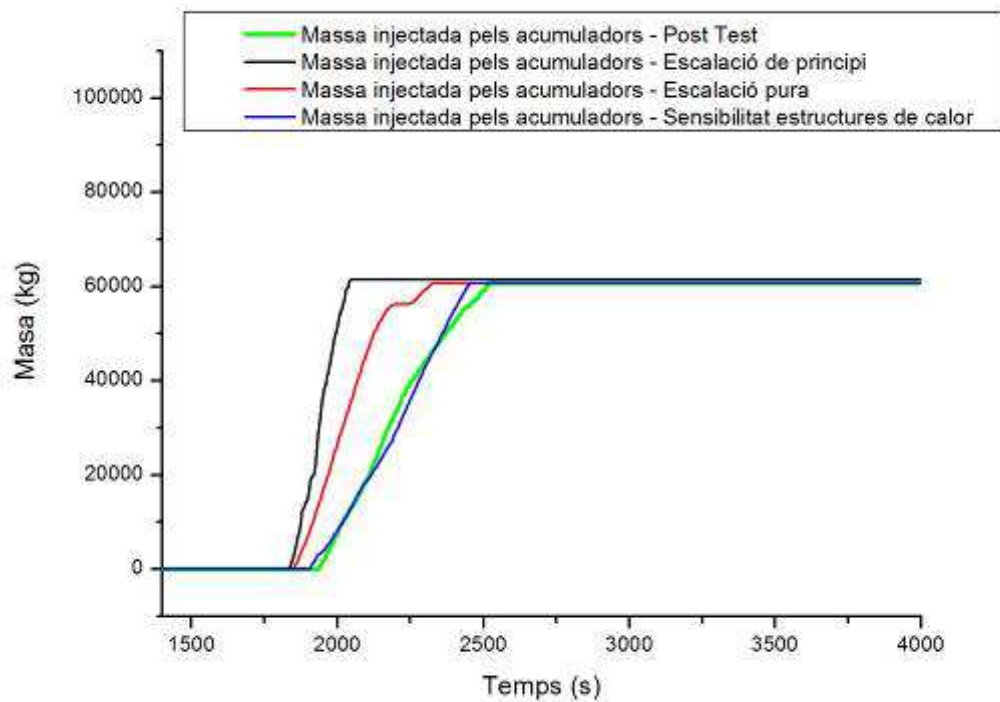


Figura 92: BL44 (escalació pura – Estructures calor): Massa injectada pels acumuladors

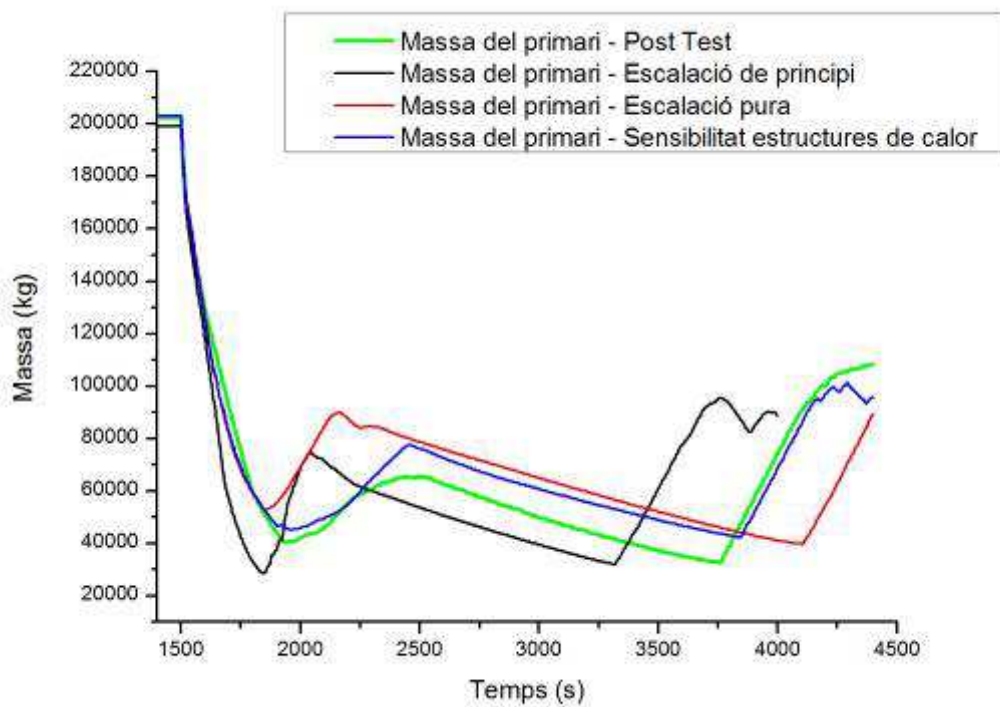


Figura 93: BL44 (escalació pura – Estructures calor): Massa del primari



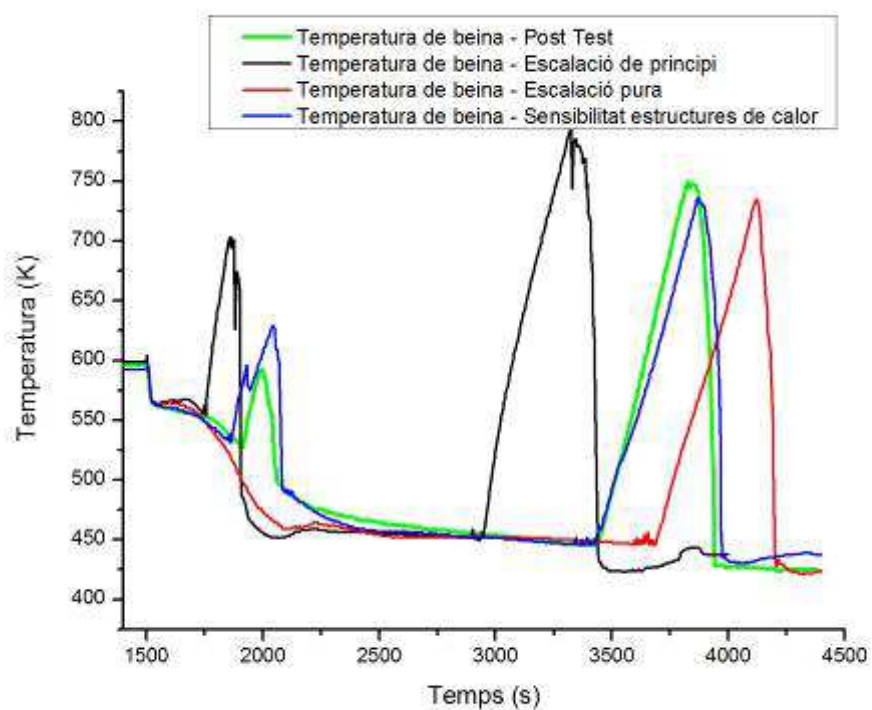


Figura 94: BL44 (escalació pura – Estructures calor): Temperatura de beina



9 Conclusions i temes oberts.

A la vista del treball fet al llarg del projecte i els resultats obtinguts, es poden arribar a les següents conclusions:

- El model simplificat d'Ascó s'ha millorat amb èxit, l'apartat de Fase d'acondicionament permet portar la planta d'Ascó a els paràmetres estacionaris de l'experiment que es vulgui escalar, i el control de pressió del secundari permet manipular aquest paràmetre de manera fàcil i directa. Fins el moment s'ha provat amb els transitoris ROSA 3.1, BL30 i BL44, obtenint bons resultats, però s'ha de testejar amb més experiments per provar el nou model en diferents escenaris.
- S'han reexecutat els experiments BL30 i BL44 de LOBI amb el model escalat. Els resultats són prometedors, veient l'impacte que tenen les estructures de calor, de transferència i de pèrdues amb l'ambient, en aquests transitoris. S'ha comprovat com el BL44 millorava substancialment en el model escalat quan s'escalaven les estructures de calor, aconseguint reproduir el pic de pressió del secundari i els buidats del nucli. S'haurien de reproduir les estructures de calor en la modelització d'Ascó per buscar els mateixos resultats.
- S'ha treballat amb models híbrids, inserint elements de LOBI en la modelització d'Ascó, veient com afecten durant el transitori. En aquest àmbit es poden realitzar un ampli ventall de sensibilitats, no provades en el present projecte:
 - Inserir diversos elements a la vegada.
 - Inserir elements d'Ascó en el model de LOBI.
 - Demostrar l'impacte que tenen les estructures de calor, inserir la geometria dels elements per separat de les estructures de calor (en el present treball s'ha canviat tot junt).
- A l'hora de realitzar càlculs escalats i analitzar discrepàncies, després de l'experiència adquirida amb aquests experiments i les sensibilitats realitzades, es creu convenient realitzar l'escalació pura de la planta ITF i comparar-la amb l'escalació de principi d'Ascó abans de començar a realitzar sensibilitats en aquesta, per veure l'efecte del factor d'escala en l'experiment.
- El producte final d'aquest projecte constitueix una eina valuosa que ha de permetre desenvolupar les tasques de validació del model de la Central Nuclear d'Ascó amb més fiabilitat i menys esforç.
- L'experiència desenvolupada en aquest projecte ha de permetre l'aplicació de la feina realitzada per a la Central Nuclear d'Ascó als models d'altres centrals.





10 Pressupost

En aquest apartat es realitza un estudi econòmic per tal de valorar el cost de realització del present projecte, de la manera més acurada i precisa possible.

A continuació es desglossen les dues partides principals del projecte, recursos humans y recursos materials, detallant els costos de cada una.

10.1 Costos derivats dels recursos humans dedicats al projecte

Per la realització d'aquest projecte han intervingut, en diferent mesura, les següents persones:

- Director de projecte, encarregat de coordinar, supervisar, i aportar el coneixement tècnic específic del projecte
- Enginyer senior, encarregat de supervisar i revisar l'execució del projecte.
- Enginyer júnior, encarregat de la realització del projecte.

El preu per hora de les persones previament citades es basa, principalment, en el nivell d'estudis i capacitats tècniques específiques requerides per la realització d'aquest projecte. D'aquesta manera, s'estipulen els següents preus:

- | | |
|------------------------|--------|
| • Director de projecte | 75 €/h |
| • Enginyer senior | 55 €/h |
| • Enginyer júnior | 45 €/h |

La realització del projecte, per part de l'enginyer júnior, ha significat una duració d'un any, dedicant 4 hores diàries, significant un total de 960 hores laborals. Aquestes inclouen:

- Anàlisis previ de viabilitat del projecte.
- Formació i adquisició dels coneixements tècnics necessaris.
- Recopilació de dades.
- Familiarització amb el model.
- Realització de les millores del model
 - Programació del control de pressió del secundari.
 - Creació de models híbrids.
- Simulació i testeig dels elements del punt anterior.
- Recopilació i anàlisis de resultats.



- Redacció de la memòria i annexes.

Per part de l'enginyer sènior i el director de projecte, es consideren unes dedicacions equivalents a 30 i 50 hores respectivament, per tal de realitzar el seguiment i revisió del projecte.

D'aquesta manera, el resum d'hores i preu per persones queda:

- | | | |
|------------------------|---------------|----------|
| • Director de projecte | 75 €/h x 50h | 3.750 € |
| • Enginyer sènior | 55 €/h x 30h | 1.650 € |
| • Enginyer júnior | 45 €/h x 960h | 43.200 € |

Total recursos humans: 47.110 €

10.2 Costos derivats dels recursos materials dedicats al projecte

Per la realització d'aquest s'ha necessitat un ordinador, requerint unes prestacions de càlcul i processament elevades, per tal de realitzar les diferents simulacions de manera ràpida i àgil. D'aquesta manera, el cost de l'ordinador es considera de 1200 €, comptat una amortització a 5 anys i un interès del 15%. D'aquesta manera, el cost anual queda:

$$\text{Cost anual} = 1200 \text{ €} \cdot 0.15 \cdot [1.15^5 / (1.15^5 - 1)] = 357.98 \text{ €/any}$$

Considerant un ús anual de 1760 hores (calendari laboral), obtenim un cost/hora de 0.2034 €/h, més el cost energètic de 0.05 €/h, fan un total de 0.2534 €/h. El cost d'ús de l'ordinador queda:

- | | | |
|-------------|-------------------|----------|
| • Ordinador | 0.2534 €/h x 960h | 243.26 € |
|-------------|-------------------|----------|

A més a més, es considera una partida de material d'oficina, valorada en 100€.

Total recursos materials: 343,26 €

10.3 Resum

Recursos humans:

- | | | |
|------------------------|---------------|----------|
| • Director de projecte | 75 €/h x 50h | 3.750 € |
| • Enginyer sènior | 55 €/h x 30h | 1.650 € |
| • Enginyer júnior | 45 €/h x 960h | 43.200 € |

Recursos materials:

- | | | |
|----------------------|-------------------|----------|
| • Ordinador | 0.2534 €/h x 960h | 243,26 € |
| • Material d'oficina | - | 100 € |

TOTAL: 47.453,26 €



11 Estudi d'impacte ambiental

L'elaboració del present projecte es basa, principalment, en la realització de càlculs i simulacions per ordinador. D'aquesta manera, l'impacte que ha tingut la realització d'aquest vers el medi ambient es molt reduït, no perjudicant-lo a nivell de contaminació abocada directament, a nivell visual o a nivell acústic, únicament en consum energètic per part de l'ordinador (potència de 100W), que equivalen a 0.96 kW·h (ús total durant el projecte).

En canvi, el projecte ofereix una eina de treball per ajudar a la millora en el funcionament i seguretat de les plantes nuclears, ja que millora el model actual de central nuclear d'Ascó, permetent realitzar simulacions d'accidents de manera més ràpida i fiable, reduint també el temps d'execució d'aquests càlculs en el futur.





12 Bibliografia

RELAP5/MOD3.3 code manual, 2002

- [1] M. Bailo *Preparación de un procedimiento para la ejecución de cálculos de seguridad y operación para el apoyo a la explotación de una central nuclear con modelos integrales de planta*, 2007
- [2] V. Martínez, F. Reventós, C. Pretel, I. Sol, *Code Validation and Scaling of the ROSA/LSTF Test 3-1 experiment*; International Topical Meeting of Safety of Nuclear Installations TopSafe 2008; ISBN 978-92-950064-06-5 October 2008; Croatia, 2008
- [3] V. Martínez, F. Reventós, C. Pretel, *Post-Test Calculation of the ROSA/LSTF Test 3-1 using RELAP5/mod3.3*; NUREG/IA-409, 2012
- [4] P. Pla, F. Reventós, C. Pretel, W. Giannotti, F. D'Auria, A. Annunziato, I. Sol, *Code Validation and Scaling of the LOBI BL-30 experiment*, Proceedings of ICAPP 2007 Conference, Nice, France, May 13-18 2007, 2007
- [5] N. Baltzer *Analysis of distortions introduced in scaled calculations in an actual PWR thermal-hydraulic model*
- [6] F. Reventós, P. Pla, C. Matteoli, G. Nacci, M. Cherubini, A. Del Nevo, F. D'Auria, *Consistent post-test calculations for LOCA scenarios in LOBI Integral Facility*, Science and Technology of Nuclear Instalations Journal Volume 2012, 2012





13 Relació de figures

Figura 1:	Simplificacions del model d'Ascó	8
Figura 2:	Línia de turbina.....	15
Figura 3:	Fase d'acondicionament de BL44: Potència nuclear.....	16
Figura 4:	Fase d'acondicionament de BL44: Cabal del primari	16
Figura 5:	Fase d'acondicionament de BL44: Pressió del secundari	17
Figura 6:	ROSA3.1: Pressió del primari.....	18
Figura 7:	ROSA3.1: Pressió del secundari	19
Figura 8:	ROSA3.1: Nivell del nucli	19
Figura 9:	ROSA3.1: Cabal pel trencament	20
Figura 10:	ROSA3.1: Màxima temperatura de beina.....	20
Figura 11:	ROSA3.1: Nivell dels tubs en U, llaç 1	21
Figura 12:	ROSA3.1: Nivell dels tubs en U, llaç 2	21
Figura 13:	ROSA3.1: Nivell dels tubs en U, llaç 3	22
Figura 14:	BL30: Pressió del primari (pressionador)	25
Figura 15:	BL30: Pressió del secundari (cúpula dels generadors de vapor)	26
Figura 16:	BL30: Massa fugada pel trencament.....	26
Figura 17:	BL30: Cabal HPI.....	27
Figura 18:	BL30: Massa injectada pels acumuladors	27
Figura 19:	BL30: Massa del primari.....	28
Figura 20:	BL30: Temperatura de beina.....	28
Figura 21:	BL30 (Híbrid GV): Pressió del primari (pressionador)	29
Figura 22:	BL30 (Híbrid GV): Temperatura de beina.....	30
Figura 23:	BL30 (Híbrid GV): Massa del primari.....	30
Figura 24:	BL30 (Híbrid GV): Temperatures durant la fase d'acondicionament i l'estat estacionari	31
Figura 25:	BL30 (Híbrid branques): Pressió del primari (pressionador)	32
Figura 26:	BL30 (Híbrid branques): Temperatura de beina	32
Figura 27:	BL30 (Híbrid branques): Massa del primari.....	33
Figura 28:	BL30 (Híbrid cuva): Pressió del primari (pressionador).....	33
Figura 29:	BL30 (Híbrid cuva): Temperatura de beina	34
Figura 30:	BL30 (Híbrid cuva): Massa del primari	34
Figura 31:	Cuva de LOBI.....	35



Figura 32:	Cuva d'Ascó i modificació de la cuva de LOBI	36
Figura 33:	BL30 (escalació pura): Pressió del primari.....	37
Figura 34:	BL30 (escalació pura): Pressió del secundari	37
Figura 35:	BL30 (escalació pura): Massa fugada pel trencament	38
Figura 36:	BL30 (escalació pura): Cabal HPI	38
Figura 37:	BL30 (escalació pura): Massa injectada pels acumuladors.....	39
Figura 38:	BL30 (escalació pura): Massa del primari	39
Figura 39:	BL30 (escalació pura): Temperatura de beina	40
Figura 40:	BL30 (escalació pura – Estructures calor): Pressió del primari	41
Figura 41:	BL30 (escalació pura – Estructures calor): Pressió del secundari.....	41
Figura 42:	BL30 (escalació pura – Estructures calor): Massa fugada pel trencament.....	42
Figura 43:	BL30 (escalació pura – Estructures calor): Cabal HPI	42
Figura 44:	BL30 (escalació pura – Estructures calor): Massa injectada pels acumuladors	43
Figura 45:	BL30 (escalació pura – Estructures calor): Massa del primari.....	43
Figura 46:	BL30 (escalació pura – Estructures calor): Temperatura de beina.....	44
Figura 47:	BL44 (escalació pura): Pressió del primari.....	49
Figura 48:	BL44 (escalació pura): Pressió del secundari	50
Figura 49:	BL44 (escalació pura): Massa fugada pel trencament	50
Figura 50:	BL44 (escalació pura): Temperatura de beina	51
Figura 51:	BL44 (escalació pura): Cabal LPI.....	51
Figura 52:	BL44 (escalació pura): Massa injectada pels acumuladors.....	52
Figura 53:	BL44 (escalació pura): Massa del primari	53
Figura 54:	BL44 (Híbrid GV): Pressió del primari	53
Figura 55:	BL44 (Híbrid GV): Pressió del secundari.....	54
Figura 56:	BL44 (Híbrid GV): Massa fugada pel trencament.....	54
Figura 57:	BL44 (Híbrid GV): Temperatura de beina.....	55
Figura 58:	BL44 (Híbrid GV): Cabal LPI	55
Figura 59:	BL44 (Híbrid GV): Massa injectada pels acumuladors	56
Figura 60:	BL44 (Híbrid GV): Massa del primari.....	56
Figura 61:	BL44 (Híbrid branques): Pressió del primari.....	57
Figura 62:	BL44 (Híbrid branques): Pressió del secundari.....	58
Figura 63:	BL44 (Híbrid branques): Massa fugada pel trencament	58
Figura 64:	BL44 (Híbrid branques): Temperatura de beina	59



Figura 65:	BL44 (Híbrid branques): Cabal LPI	59
Figura 66:	BL44 (Híbrid branques): Massa injectada pels acumuladors	60
Figura 67:	BL44 (Híbrid branques): Massa del primari	60
Figura 68:	BL44 (Híbrid Cuva): Pressió del primari	61
Figura 69:	BL44 (Híbrid Cuva): Pressió del secundari.....	62
Figura 70:	BL44 (Híbrid Cuva): Massa fugada pel trencament.....	62
Figura 71:	BL44 (Híbrid Cuva): Temperatura de beina	63
Figura 72:	BL44 (Híbrid Cuva): Massa del primari	64
Figura 73:	BL44 (Híbrid Cuva): Cabal LPI.....	64
Figura 74:	BL44 (Híbrid Cuva): Massa injectada pels acumuladors.....	65
Figura 75:	BL44 (escalació pura): Pressió del primari.....	66
Figura 76:	BL44 (escalació pura): Pressió del secundari	66
Figura 77:	BL44 (escalació pura): Massa fugada pel trencament	67
Figura 78:	BL44 (escalació pura): Cabal LPI.....	67
Figura 79:	BL44 (escalació pura): Massa injectada pels acumuladors.....	68
Figura 80:	BL44 (escalació pura): Massa del primari	68
Figura 81:	BL44 (escalació pura): Temperatura de beina	69
Figura 82:	BL44 (escalació pura – Estructures calor): Pressió del primari	70
Figura 83:	BL44 (escalació pura – Estructures calor): Pressió del secundari.....	70
Figura 84:	BL44 (escalació pura – Estructures calor): Massa fugada pel trencament.....	71
Figura 85:	BL44 (escalació pura – Estructures calor): Cabal LPI	71
Figura 86:	BL44 (escalació pura – Estructures calor): Massa injectada pels acumuladors	72
Figura 87:	BL44 (escalació pura – Estructures calor): Massa del primari.....	72
Figura 88:	BL44 (escalació pura – Estructures calor): Temperatura de beina.....	73

